

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Andrija Trčak**

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

Doc. dr. sc. Damir Godec

Student:

Andrija Trčak

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Damiru Godecu na ukazanom povjerenju, te na svim savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji, djevojci i prijateljima na bezrezervnoj podršci i razumijevanju tijekom studija.

Andrija Trčak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **ANDRIJA TRČAK** Mat. br.: 0035183227

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **RAZVOJ POLIMERNOG KUĆIŠTA KARTUŠE POSEBNOG LJEPILA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **DEVELOPMENT OF POLYMER CASE OF SPECIAL GLUE CONTAINER**

Opis zadatka:

Primjena polimernih proizvoda u trajnom je porastu u svim područjima ljudskog djelovanja; industrija, medicina, široka potrošnja itd. Ta je činjenica rezultat povoljnih svojstava polimernih proizvoda, kao i široke mogućnosti njihove prerade od jednostavnih do vrlo kompliciranih oblika. Međutim, kako bi se iskoristile sve mogućnosti i u konačnici proizveo optimirani polimerni proizvod, potrebno je pri njegovom razvoju poznavati pravila konstruiranja obzirom na njegovu funkciju, postupak prerade, montaže, održavanja i metoda ispitivanja.

U okviru teorijskog dijela rada, potrebno je opisati osnovne smjernice razvoja polimernih otpresaka koji se izrađuju postupkom injekcijskog prešanja. U praktičnom dijelu rada, na temelju teorijskih spoznaja o razvoju polimernih otpresaka, potrebno je razviti polimerni otpresak – kućište kartuše posebnog ljepila koje će se proizvoditi injekcijskim prešanjem.

Zadatak zadan:  
25. studenog 2014.

Rok predaje rada:  
1. rok: 26. veljače 2015.  
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.  
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Damir Godec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	VII
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VIII
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY .....	X
1. UVOD .....	1
2. RAZVOJ SLOŽENOG PROIZVODA .....	2
3. SISTEMATIKA RAZVOJA INJEKCIJSKI PREŠANIH POLIMERNIH TVOREVINA ....	3
4. MARKETINŠKA ISTRAŽIVANJA .....	5
4.1. Istraživanje tržišta.....	5
4.2. Planiranje proizvoda.....	8
5. TEHNOLOGIJSKO KONSTRUIRANJE OTPRESKA.....	10
5.1. Polazišni postupci konstruiranja.....	10
5.1.1 Vrednovanje tehnike .....	17
5.1.1.1. Funkcionalnost.....	17
5.1.1.2. Gospodarstvenost.....	17
5.1.1.3. Kvaliteta okoline.....	17
5.1.1.4. Recikliranje polimernih materijala .....	18
5.1.1.5. Razvoj osobnosti i kvaliteta društva .....	18
5.1.1.6. Etika i obrazovanje .....	18
5.1.1.7. Zdravlje.....	19
5.2. Središnja faza konstruiranja.....	19
5.2.1. Dimenzioniranje.....	23
5.2.2. Oblikovanje injekcijski prešanih proizvoda.....	26

5.2.2.1.	Ubrizgavanje polimerne taljevine u kalupnu šupljinu .....	26
5.2.2.2.	Hlađenje i skrućivanje taljevine .....	27
5.2.2.3.	Izbacivanje proizvoda iz kalupne šupljine .....	28
5.2.3.	Pravila oblikovanja .....	29
5.2.3.1.	Stijenke .....	29
5.2.3.2.	Gomilanje masa .....	32
5.2.3.3.	Kutovi i bridovi .....	36
5.2.3.4.	Rebrasta ojačanja .....	38
5.2.3.5.	Velike plohe .....	39
5.2.3.6.	Podrezane površine .....	41
5.2.3.7.	Izmjere, tolerancije i kvaliteta površine .....	46
5.2.3.8.	Povoljnije oblikovanje proizvoda .....	51
5.2.3.9.	Položaj ušća i linije spajanja čela taljevine .....	54
5.2.3.10.	Metalni umeci .....	58
5.2.3.11.	Provrti, otvori i slijepe rupe .....	60
5.2.4.	Odabir materijala .....	62
5.3.	Završne aktivnosti konstruiranja .....	64
6.	PRAKTIČNI DIO .....	65
6.1.	Uvod .....	65
6.2.	Analiza zahtjeva na kućište kartuše .....	66
6.3.	Izbor materijala .....	66
6.4.	Oblikovanje kućišta .....	67
6.5.	Provjera tehničnosti otpreska i simulacije .....	71
7.	ZAKLJUČAK .....	75
8.	LITERATURA .....	76

## POPIS SLIKA

Slika 3.1. Shema razvoja injekcijski prešanih polimernih otpresaka [1] .....	3
Slika 4.1. Različiti pogledi na proizvod [3] .....	7
Slika 5.1. Proizvod kao sustav u kojem se vrši pretvorba ulaznih veličina u izlazne [4] .....	11
Slika 5.2. Radni koraci procesa konstruiranja [4] .....	13
Slika 5.3. Polazišni postupci tehnologijskog konstruiranja otpreska [1] .....	14
Slika 5.4. Kompleksni tehnologijski zahtjevi u vezi s proizvodom [1] .....	16
Slika 5.5. Tok projektne razrade[4].....	19
Slika 5.6. Prikaz naprezanja pomoću Metode konačnih elemenata [13] .....	25
Slika 5.7. Primjeri konstrukcijskih mjera za izbjegavanje neželjenih deformacija u kutovima proizvoda [10] .....	28
Slika 5.8. Uskočni element koji zahtijeva primjenu pomičnih jezgri u kalupu [10].....	29
Slika 5.9. Moguće pogreške i deformacije proizvoda sa stijenkama debljima od 4mm [10] .....	30
Slika 5.10. Primjeri deformacija proizvoda zbog bržeg hlađenja tanje stijenke: a) Deformiranje tanje stijenke koja se brže hladi; b) Savijanje ploče koja je tanja od rebara; c) Savijanje ploče koja je deblja od rebara[10].....	31
Slika 5.11. Neispravno i ispravno oblikovani prijelazi između stijenki različitih debljina[6].....	31
Slika 5.12. Deformacije kutijastog proizvoda s neispravnim debljinama stijenki i preporuke za njihovo ispravno oblikovanje[10] .....	32
Slika 5.13. Izbjegavanje gomilanja masa ispravnim oblikovanjem proizvoda: a)neispravno; b) i c) ispravno[10] .....	32
Slika 5.14. Povezivanje rupa za vijke i stijenke proizvoda: a) neispravno; b) do f) ispravno [10] .....	33
Slika 5.15. a) Neispravno oblikovan proizvod; b) Ispravno oblikovan proizvod [10].....	33
Slika 5.16. a) Neispravno oblikovan proizvod; b) Ispravno oblikovan proizvod [10].....	34
Slika 5.17. a) neispravno oblikovana užnica; b) Ispravno oblikovana užnica [10] .....	34
Slika 5.18. a) Neispravno oblikovan zupčanik; b) Ispravno oblikovan zupčanik; izbjegavaju se deformacija zuba i pojava šupljina u njima [10] .....	34

Slika 5.19. a) Neispravno oblikovan proizvod; b) Ispravno oblikovan proizvod [10].....	35
Slika 5.20. Provrti za vijke na polimernom proizvodu: a) Neispravno oblikovanje; b) i c) Ispravno oblikovanje [10] .....	35
Slika 5.21. Proizvod s ojačanim rubom: a) Deformacija zbog gomilanja masa; b) Ispravan oblik[10].....	35
Slika 5.22. a) Pogrešno oblikovan donji dio spremnika; b) i c) Ispravna konstrukcijska rješenja [10] .....	35
Slika 5.23. Dijagram ovisnosti faktora koncentracije naprezanja o omjeru polumjera zaobljenja R i debljine nosivog dijela kutnog elementa s [10].....	36
Slika 5.24. Oblikovanje i dimenzioniranje kutova polimernog proizvoda: a) neispravno; b) i c) ispravno [10] .....	37
Slika 5.25. Pregled nekih ispravnih načina oblikovanja kutova polimernih proizvoda [10] .....	38
Slika 5.26. Preporučeni oblik rebrastog ojačanja [10] .....	39
Slika 5.27. a) Velike ravne plohe podložne deformacijama; b) Povoljnija blago udubljena ploha; c) Povoljnija blago izbočena ploha[10].....	39
Slika 5.28. a) Neispravno oblikovan polimerni poklopac; b) Ispravno oblikovan poklopac[10] .	40
Slika 5.29. Primjer plošnih proizvoda kojima su krutost i stabilnost povećane stepenastim oblikovanjem[10] .....	40
Slika 5.30. a) Loše oblikovanje; b) Povećanje krutosti podne površine i stabilnosti primjenom stepenastih prijelaza između površina proizvoda[10] .....	40
Slika 5.31. Površine koje moraju biti ravne: a) Neukrućene plohe će se deformirati; b) Dobra konstrukcija s rebrastim ukrućenjima[10].....	41
Slika 5.32. a) Nepovoljna izvedba polimernog spremnika s ravnim dnom; b) Poboljšana izvedba dna s izraženim rubom[10].....	41
Slika 5.33. Proizvod s podrežanim vanjskim i unutarnjim ploham; b) Proizvod bez podrežanih ploha [10] .....	42
Slika 5.34. Polimerni vijak: a) Izvedba s podrežanom površinom; b) Povoljnija izvedba bez podrežane površine[10] .....	42
Slika 5.35. Polimerni čep s unutarnjim navojem: a) Izvedba s podrežanim vanjskim ploham; b) Jednostavnija izvedba bez podreza[10] .....	42



Slika 5.36. Dugme s nareckanim površinama za hvatanje: a) i b) Izvedbe s podrezima; c) Povoljnija izvedba bez podreza[10].....	43
Slika 5.37. Proizvod s bočnim otvorom: a) Izvedba koja zahtijeva postrane jezgre za oblikovanje bočnog otvora; b) Preoblikovanjem stijenke jezgra nije potrebna; c) Izvedba pri kojoj se dijelovi kalupa djelomično dodiruju pa jezgra nije potrebna[10] .....	43
Slika 5.38. a) Proizvod s bočnim otvorom u izvedbi koja zahtijeva postrane jezgre; b) Bolja izvedba pri kojoj jezgre nisu potrebne[10].....	44
Slika 5.39. a) Proizvod s bočnim otvorom, tj. podrezom koji zahtijeva jezgre; b) do e) Različite mogućnosti izrade bočnog otvora bez korištenja pomoćnih jezgri[10] .....	44
Slika 5.40. a) Oblik proizvoda s podrezom koji zahtijeva primjenu pomičnih jezgri; b) Poboljšana izvedba bez podreza[10].....	45
Slika 5.41. Proizvod s podrezanim elementom koji se zahvaljujući donjem otvoru može izraditi bez primjene pomičnih jezgri [10] .....	45
Slika 5.42. Užnica izrađena od dvaju jednostavnijih dijelova koji se naknadno spajaju u cjelinu [10] .....	46
Slika 5.43. Shematski prikaz utjecaja na izmjere i tolerancije polimernog proizvoda pri injekcijskom prešanju; da bi se dobila željena izmjera proizvoda, kalup treba povećati za iznos $K$ [10] .....	47
Slika 5.44. Primjer proizvoda i njegovih izmjera koje su određene izmjerama kalupa[10] .....	48
Slika 5.45. Primjer proizvoda i njegovih izmjera koje su određene i izmjerama i položajem dijelova kalupa[10].....	48
Slika 5.46. Stezni spoj: a) Nepovoljna izvedba s velikim usko toleriranim površinama; b) Povoljna izvedba s nekoliko manjih dodirnih površina [10].....	49
Slika 5.47. a) Zamjena većih toleriranih izmjera manjima kod elastičnih šarki; b) Eliminiranje tolerancija kod razmaka provrta [10] .....	50
Slika 5.48. Plastični kovčević: a) Izvedba s dvije različite polovice; b) Izvedba s dvije identične polovice [10] .....	52
Slika 5.49. Ušteda na troškovima alata: a) Oblik koji zahtijeva složenu konstrukciju kalupa zbog rebara; b) Rotacijski oblik koji omogućuje uštedu od 80% [10].....	53

Slika 5.50. Podmazani ležaj vratila s nosačem: a) Klasična izvedba; b) Multifunkcionalna integralna izvedba [10].....	54
Slika 5.51. Tečenje polimerne taljevine nakon ubrizgavanja iz točkastog ušća [10].....	55
Slika 5.52. Utjecaj geometrije proizvoda na tok čela taljevine i nastanak linija spajanja: u dijelovima proizvoda debljih stijenki ( $a > b$ ) polimerna taljevina brže teče [10] .....	55
Slika 5.53. Tečenje polimerna taljevine iz filmskog ušća [10] .....	56
Slika 5.54. Pukotine se kod uskočnog spoja mogu pojaviti na mjestu linije spajanja ili na oštrim kutovima prereza. Zaobljavanjem kutova smanjuje se koncentracija naprezanja u materijalu, a time i opasnost od loma. Na mjestu linije spajanja izvedeno je ojačanje.[10].....	57
Slika 5.55. Primjena pravila za ispravno oblikovanje s obzirom na linije spajanja na polimernom zupčaniku [10].....	58
Slika 5.56. Preporuka za smještanje metalnog umetka u polimerni proizvod [10].....	59
Slika 5.57. Razni polimerni elementi na limu izrađeni injekcijskim oprešavanjem [10] .....	60
Slika 5.58. Veličine slijepe rupe u polimernom proizvodu [10] .....	61
Slika 5.59. Preporuka za debljinu polimernog proizvoda ispod slijepe rupe [10] .....	61
Slika 5.60. Preporuke za raspored provrta na polimernom proizvodu [10] .....	62
Slika 5.61. Završne aktivnosti konstruiranja otpreska[1].....	64
Slika 6.1. Tipovi dizajna kućišta .....	66
Slika 6.2. Sklop 1 .....	67
Slika 6.3. Sklop 2 .....	68
Slika 6.4. Polovica kućišta s izdancima .....	68
Slika 6.5. Polovica kućišta s utorima .....	69
Slika 6.6. Presjek sklopa .....	70
Slika 6.7. Vrijeme punjenja.....	71
Slika 6.8. Predviđena kvaliteta otpreska .....	72
Slika 6.9. Kvaliteta ispunjenja kalupne šupljine .....	73
Slika 6.10. Pad tlaka.....	74

**POPIS TABLICA**

Tablica 5.1	Pregled kvaliteta obrade površina polimernih proizvoda[10].....	51
-------------	---	----

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

1-13-001 Kućište Kartuše A

1-13-002 Kućište Kartuše B

1-13-003 Kartuša

1-13-004 Nastavak za istiskivanje

1-14-005 Poklopac za UV lampicu

1-22-001 Sklop

## SAŽETAK

U radu su opisane osnovne smjernice razvoja polimernih otpreska postupkom injekcijskog prešanja. Opisano je kako se na temelju određene sistematike razvoja proizvoda, istraživanjem tržišta, propisuju osnovni zahtjevi koje proizvod mora ispuniti. Tek analizom tih zahtjeva konstruktor može početi planiranje proizvoda i osmišljavanje koncepata te njihovu daljnju razradu.

Marketinška istraživanja su također bitan čimbenik koje je potrebno izvršiti da bi se osigurao daljnji uspjeh. Naime, imati dobar proizvoda samo po sebi nije dovoljno, treba se osigurati da kupac, korisnik, ulagači imaju čim bolju informaciju o proizvodu.

Gledano s tehničkog stajališta, konstruiranje zauzima središnje mjesto u razvoju injekcijski prešanih polimernih tvorevina. Pristup razvoju i konstruiranju proizvoda sa stajališta njegove funkcije, proizvodnje i tehničke uporabe (uporabna svojstva npr. čvrstoća, žilavost...) naziva se tehnologijsko konstruiranje. S druge je strane tehnologijsko konstruiranje širi pojam, kojim se podrazumijevaju razvoj i konstruiranje proizvoda sa stajališta njegove tehničnosti, gospodarstvenosti i sociologičnosti. Središnju fazu konstruiranja karakterizira visoka povezanost triju aktivnosti: oblikovanja, dimenzioniranja i izbora materijala.

Završne aktivnosti konstruiranja sastoje se od analize trajnosti i pouzdanosti otpreska te procjene ukupnih troškova. Rad konstruktora treba konačno biti crtež otpreska popraćen listom otpreska, obrascem koji sadrži sve nužne podatke za ispravno projektiranje kalupa.

U praktičnom dijelu zadatka razvijeno je kućište kartuše posebnog ljepila koje će se proizvoditi injekcijskim prešanjem. Opisani su zahtjevi koji su postavljeni na otpresak, izbor materijala, oblikovanje kućišta, te su napravljene simulacije popunjavanja kalupne šupljine i hlađenja otpreska. Softveri koji su korišteni prilikom izrade ovog rada su: SolidWorks 2014, koji je korišten za modeliranje, oblikovanje otpreska i tehnička dokumentacija, te Moldflow pomoću kojeg su napravljene simulacije.

Na kraju rada priložena je tehnička dokumentacija.

Ključne riječi: razvoj proizvoda, polimerni otpresak, postupci konstruiranja, tehnologijsko konstruiranje.

## SUMMARY

This thesis addresses the product development guidelines by injection moulding process. It is described how on the basis of a certain scheme of product development, market research, basic requirements that products must meet are provided. Only after the analysis of these requirements the designer can begin planning of the product and design concepts as well as their further development.

Market research is also an important factor that needs to be performed to ensure continued success. Namely, it is not enough to have a good product, the customer, the user and investors should have the best possible information about the product.

From a technical point of view, design takes the center stage in the development of injection moulding polymer products. Approach to development and product design from the standpoint of its functions, production and technical use (performance characteristics, e.g. strength, ...) is called a technological designing. On the other hand, technological design is a broader concept, which includes the development and design of products from the standpoint of technology, economy and sociology. The central phase of design is characterized by high correlation of the three activities: design, dimensioning and selection of material.

Final design activities consist of the analysis of the durability and reliability of products and estimation of the total cost. The final result of a designer should be a drawing of the product accompanied by a list of parts, a form containing all the necessary information to properly design the mould.

In the practical part, housing of a cartridge for a special glue was developed that will be produced by injection moulding. The requirements that are placed on the moulded part, material selection, design of the housing were described, the simulation of filling of the mould cavity and cooling of the moulded part was performed. Softwares that were used during the preparation of this work are: SolidWorks 2014, which was used for modeling, designing of the moulded part and technical documentation, and Moldflow by which simulations are made.

At the end of this work technical documentation is attached.

Keywords: product development, polymer moulding, design methods, technological design.

## 1. UVOD

Prilikom razvoja novog proizvoda, da bi se od ideje došlo do krajnjeg proizvoda, treba proći određene faze. Faze se sastoje od razrade koncepta, dizajna, izrade tehničke dokumentacije do izrade prototipa, testiranja prototipa, te ispravljanja grešaka i nedostataka, odabira proizvodne tehnologije do konačne proizvodnje. Iako je vrlo važno kvalitetno i učinkovito izraditi proizvod, neophodan je prvi korak u kojem će se na temelju želja, postavljenih zahtjeva, realnih mogućnosti i ograničenja naći kompromis, te osmisliti proizvod do najsitnije pojedinosti. Reduciranje vremena koje je potrebno za realizaciju od same ideje do konačnog proizvoda, jedan je od ključnog faktora kako bi se zadovoljili zahtjevi tržišta i time osiguralo biti u razini s konkurencijom. Novi trendovi na tržištu postavljaju sve oštrije zahtjeve na proces razvoja proizvoda, pa tako i polimernih otpresaka. Jedan od načina najproširenijeg, brzog i vrlo preciznog postupka izrade polimernih otpresaka je injekcijsko prešanje. Injekcijsko prešanje polimera je proces praoblikovanja koji se sve više razvija ususret novim tehnologijama i zahtjevima. Trendovi na tržištu injekcijski prešanih proizvoda pokazuju: otpresci su sve kompliciranijih oblika, povišeni su zahtjevi na kvalitetu otpresaka, zahtijevaju se sve kraća vremena ciklusa injekcijskog prešanja, niže cijene kalupa i otpresaka.

Razvoj proizvoda uvijek uključuje umjetničku komponentu pojedinca, težnju lijepom i estetskom oblikovanju. Međutim, to je samo u početnim fazama razvoja, pri nastajanju ideje i koncepta novog proizvoda. Daljnje faze razvoja, do dolaska proizvoda na tržište, zahtijevaju većinom mukotrpan rad brojnih stručnjaka različitih profila. Posebice je to izraženo pri razvoju polimernih proizvoda koji značajno sudjeluju u ukupnoj industrijskoj proizvodnji. Posebnosti polimera kao konstrukcijskih materijala i njihovih postupaka proizvodnje u gotove proizvode, te sasvim posebna konačna, uporabna svojstva proizvoda predstavljaju ujedno i poteškoću pri njihovu razvoju. Naime, kvaliteta konstrukcijskog rješenja proizvoda izravno ovisi o karakteristikama odabranog postupaka proizvodnje i posebnostima polimera kao konstrukcijskih materijala. Činjenica postojanja velikog broja različitih vrsta i tipova polimera čini zadatak razvoja polimernih proizvoda izuzetno kompleksnim.[1]

## 2. RAZVOJ SLOŽENOG PROIZVODA

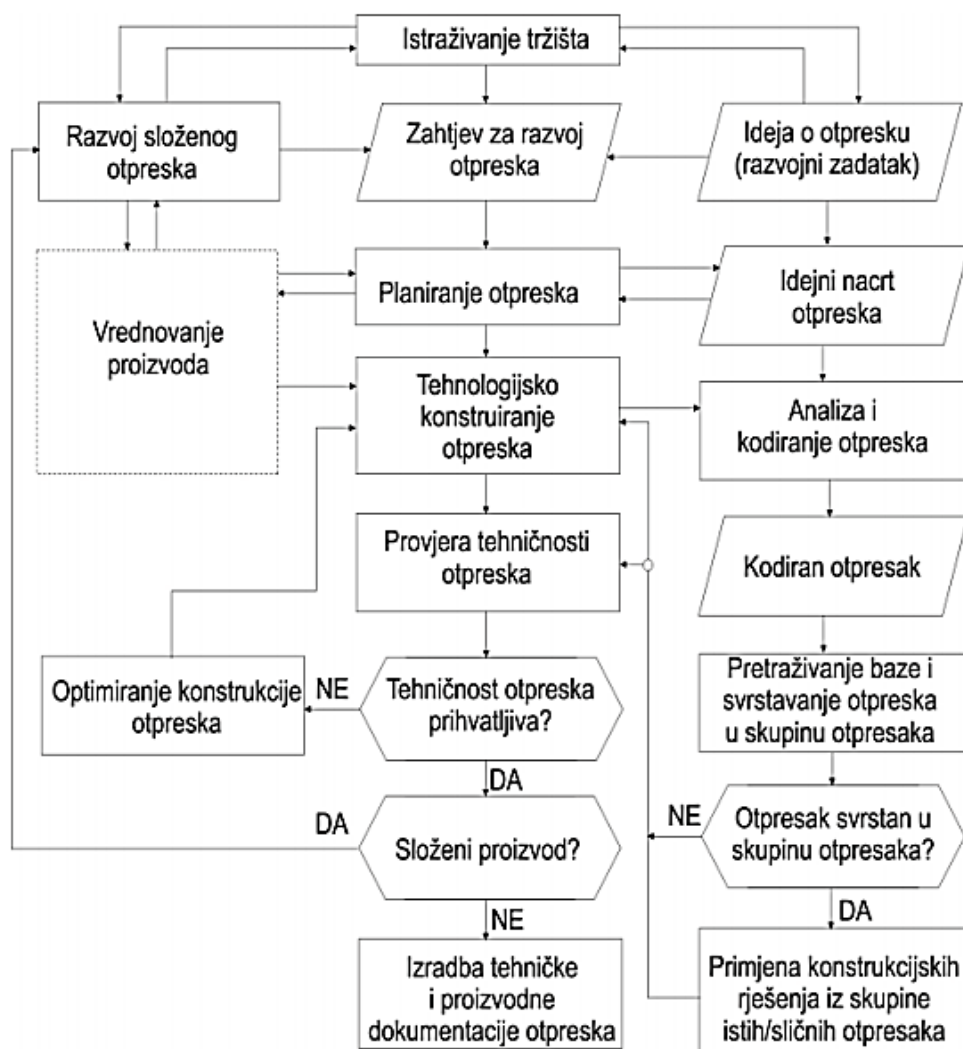
Razvoj složenog proizvoda teško je promatrati odvojeno, jer postoji potreba za većom suradnjom različitih stručnjaka koji rade na razvoju i proizvodnji, kao i paralelno odvijanje aktivnosti tijekom razvoja i proizvodnje. Tehnička tvorevina, proizvod koji samostalno dolazi na tržište u pravilu je sastavljen od čitavog niza zasebnih proizvoda kombiniranih u jedinstvenu funkcijsku cjelinu. Takav tzv. složeni proizvod može sačinjavati veći broj, vrstom materijala i postupcima proizvodnje vrlo različitih tvorevina (npr. automobili). Pritom polimerne tvorevine koje su dobivene injekcijskim prešanjem, imaju veliki udio.

Općenito, razvoj novog proizvoda započinje fazom istraživanja i planiranja razvoja. U toj se fazi na temelju zahtjeva kupaca, analize tržišta ili drugih kriterija utvrđuje potreba za proizvodnjom određenog proizvoda i formulira zahtjev za razvojem proizvoda. Zahtjev za razvojem proizvoda u biti opisuje ciljeve razvoja i ujedno se može shvatiti kao postavljanje inženjerskog zadatka. Često se postavlja pitanje opravdanosti ulaganja u sustavni razvoj novog proizvoda. Te teme iscrpljuju se obično razmatranjem visokih troškova ulaganja u razvoj. Međutim, pokazalo se da je cijena ulaganja u sustavni razvoj proizvoda opravdana i većinom nije visoka s obzirom na cijenu gotovog proizvoda. Pritom valja imati na umu da oko 75 % grešaka na proizvodima nastaje tijekom njihova razvoja. U tim fazama proizvodnje je uklanjanje grešaka i najjeftinije, pa su te spoznaje ukazale na potrebu za novim pristupom konstruiranju proizvoda, u kojem je pomoć računala neizbježna. S druge pak strane, analize pokazuju da se oko 80 % svih grešaka otkrije i uklanja tek tijekom proizvodnje, kontrole kvalitete i uporabe proizvoda. Uklanjanje grešaka u tim fazama uvijek je povezano s povišenim troškovima. [1]



### 3. SISTEMATIKA RAZVOJA INJEKCIJSKI PREŠANIH POLIMERNIH TVOREVINA

Razvoj općenito započinje istraživanjem tržišta, nakon toga na temelju marketinškog istraživanja, rezultata istraživanja i trendova definira se zadatak. Izbor zadatka razvoja i njegova definicija rezultat je rada tima planera iz različitih službi poduzeća (upravitelji, prodajna služba, služba razvoja, konstrukcija i proizvodnja), a još ovisi o položaju poduzeća na tržištu, željama kupaca, troškovima, kapacitetu poduzeća, rokovima proizvodnje, riziku itd. Općenita shema razvoja injekcijski prešane polimerne tvorevine (otpreska) predložena je slikom 3.1.



Slika 3.1. Shema razvoja injekcijski prešanih polimernih otpresaka [1]

Zahtjev za razvojem otpreska može, kako je već naglašeno, proizaći tijekom rada na razvoju složenog proizvoda, kada je potrebno razviti novi otpresak radi njegove ugradnje u složeni proizvod. Međutim, može nastati i na temelju ideje o otpresku kao samostalnom proizvodu. Pod idejom o otpresku podrazumijeva se potreba za proizvodnjom određenog otpreska. Ideje o određenom otpresku nastaju ili u samom poduzeću u kojem će se on izrađivati, na poticaj razvojne i komercijalne službe, ili izvan poduzeća na temelju istraživanja tržišta ili dobrih ideja pojedinca. Planiranje otpreska razmatra gospodarsko-tehničke, organizacijske i ostale potrebne uvjete za razvoj otpreska u određenom proizvodnom sustavu (poduzeću). Zadnji dio sheme sadrži aktivnosti koje su ujedno i prvi koraci pri konstruiranju kalupa. To su aktivnosti provjere tehničnosti otpreska. Ovdje se naglašava upravo ta povezanost razvoja otpreska s konstruiranjem kalupa. Optimalan kalup moguće je izraditi samo za jedan točno određeni otpresak, odnosno za obitelj otpresaka u sklopu fleksibilnih kalupa. Pri provjeri tehničnosti otpresaka uzimaju se u obzir pretpostavljani, propisani i tijekom provjere određeni uvjeti preradbe (tlakovi, temperature...). Tek na taj način moguće je optimirati konstrukciju otpreska. Pritom su suvremene simulacijske metode izuzetno važne. Na slici 3.1 uočava se više shematskih ucrtanih veza među pojedinim blokovima (posebice unutar faze konstruiranja kalupa), koje označuju kompliciranost i isprepletenost (kompleksnost) pojedinih faza tijekom razvoja otpreska, odnosno njihove interakcije. Te veze upućuju na brojna ponavljanja, iteracije i istovremeno razmatranje različitih aktivnosti i one su ucrtane samo principijalno.[1]

## 4. MARKETINŠKA ISTRAŽIVANJA

Marketing predstavlja jednu od najvažnijih aktivnosti koje neka organizacija ili poslovni subjekt mora učiniti da bi osigurala daljnji uspjeh. U današnjem dinamičkom razvojnem okruženju konkurencija se smatra korektivom odnosa na tržištu. Imati dobar proizvod ili uslugu samo po sebi nije dovoljno. Mora se osigurati da javnost, pod time prvenstveno podrazumijevamo kupce, korisnike, ulagače itd., ima što bolju informaciju o proizvodu. Dužina životnoga ciklusa proizvoda nema pravila. Smatra se da najbolju politiku dugoročnoga razvoja proizvodnog programa predstavlja ona koja omogućava da se novi ili obnovljeni proizvodi pojave pravodobno. Pri tome razvoj i koncepcija marketinške strategije imaju ključnu ulogu. Da bi se osigurala što bolja povratna informacija, marketinški stručnjaci koriste se mnogim alatima ili instrumentima kako bi prikupili potrebne informacije. Usporedno s tehnološkim razvojem broj se alata povećava i sve se više istiskuje tradicijski neposredni način dobivanja informacija licem u lice.[2]

### 4.1. Istraživanje tržišta

Razdoblje planiranja i projektiranja predstavlja osnovu svakog početka razvoja proizvoda. Umjerena evolucija proizvodnog programa jamstvo je stabilnosti poslovanja. Najbolja politika dugoročnog razvoja proizvodnog programa ona je koja omogućava da se novi ili obnovljeni proizvodi pojave pravodobno. Da bi se mogao donijeti dugoročni plan razvoja proizvodnog programa, treba obaviti mnoge složene aktivnosti općenito poznate kao marketinška istraživanja razvoja proizvoda. Istraživanja koja je potrebno provesti da bi se donijela odluka o dugoročnom razvoju proizvoda su:

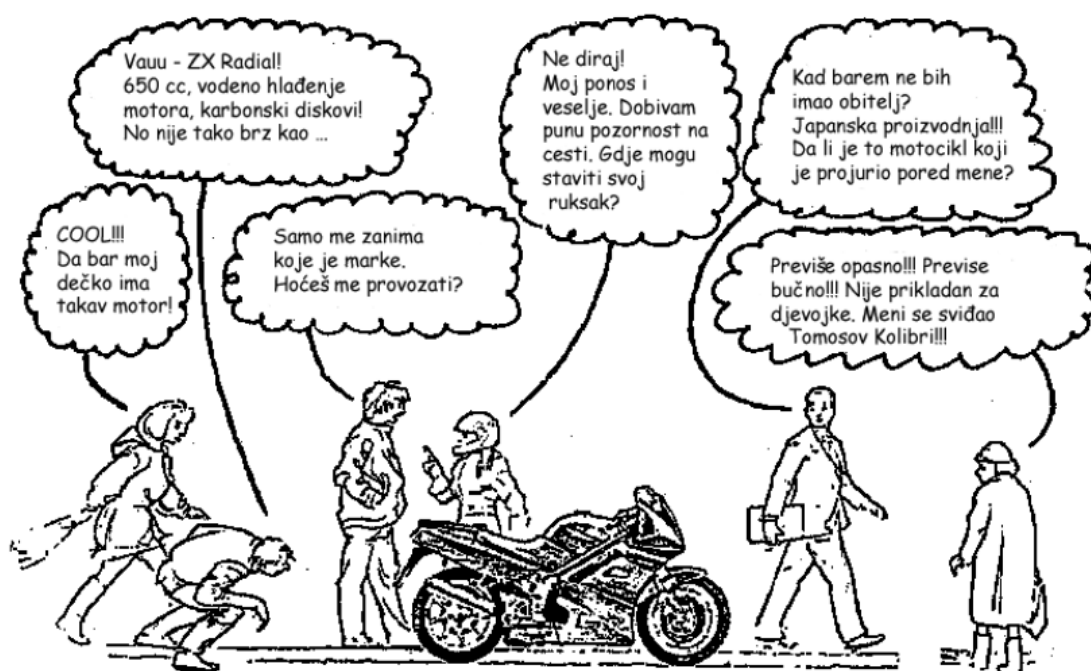
a) Istraživanje i analiza tržišta – kojom se utvrđuju opće tendencije, zahtjevi, želje i potrebe tržišta za proizvodima poslovnog sustava u budućem dužem razdoblju kroz utvrđivanje tendencija bitnih čimbenika kao što su : kvaliteta proizvoda, tehničke karakteristike proizvoda, funkcionalnost proizvoda, estetski izgled proizvoda, cijena proizvoda, procjena potreba tržišta za određenim proizvodima, procjena udjela tržišta među konkurentima, kupovna moć tržišta i način prodaje (gotovina, kredit).

b) Istraživanje i analiza konkurenata - utvrđuju se prednosti i nedostaci njihova programa i poslovne politike u odnosu na vlastiti program kroz: ocjenu tehničkih i komercijalnih karakteristika pojedinih proizvoda u odnosu na relevantne vlastite proizvode, ocjenu cijene koštanja pojedinih proizvoda (ako je moguće), ocjenu kvalitete pojedinih proizvoda u odnosu na

vlastite, procjenu tendencija budućeg razvoja proizvoda (što, kada, kako), procjenu sposobnosti konkurenata za razvoj (ideje, osoblje, financije, i sl.)

c) Istraživanje i analiza vlastitoga postojećeg proizvodnog programa - s namjerom utvrđivanja koji se proizvodi mogu i dalje proizvoditi, koje proizvode treba prestati proizvoditi te koji bi proizvodi mogli i dalje ostati u proizvodnji kad bi im se poboljšale neke karakteristike ili parametri. To se može istražiti kroz: ocjenu kvalitete, tehničkih karakteristika, funkcionalnosti i estetike pojedinog proizvoda, ocjenu odnosa cijene koštanja i prodajne cijene pojedinih proizvoda i rezervnih dijelova, ocjenu povijesne privrženosti tržišta pojedinom proizvodu iz vlastitog programa, procjenu promjena pri eventualnoj rekonstrukciji pojedinih proizvoda i veličine troškova.[2]

Cilj metodologije pronalaženja potreba je fokusiranje proizvoda na potrebe korisnika, pronalaženje skrivenih potreba, te definiranje činjenica na temelju kojih će se kreirati tehnička specifikacija. Isto tako vrlo je bitno osigurati da neke kritične potrebe nisu zanemarene ili promašene.



Slika 4.1. Različiti pogledi na proizvod [3]

Postoji više tipova potreba koje je potrebno definirati, te kasnije vrednovati kako bi se odredile one primarne koje proizvod mora zadovoljiti. Tipovi potreba korisnika su :

- Izravne – ono što korisnici nemaju problema deklarirati kao nešto o čemu razmišljaju
- Latentne – potrebe koje se ne tiču izravno proizvoda, nego cijelog sustava u kojem će se proizvod koristiti
- Konstantne – vezane uz općenitu svrhu proizvoda i uvijek su iste
- Varijabilne – mijenjaju se paralelno s razvojem tehnologije
- Općenite – potrebe koje se odnose na svakog korisnika
- Specifične – tiču se samo dijela tržišta u cijeloj populaciji korisnika [3]

Metodologija istraživanja tržišta mora biti vrlo pažljivo proučena i odabrana. Istraživači tržišta, došli do zaključka da treba sumnjati u vrijednost odgovora dobivenih konvencionalnim metodama istraživanja tržišta. Utvrdili su :

- da se ne može pretpostaviti da ljudi znaju što žele
- da se ne može pretpostaviti da će ljudi reći istinu o tome što vole, a što ne, čak i kada to znaju
- da je opasno pretpostaviti da će se ljudi ponašati racionalno.

Stoga su razvijene metode tzv. podsvjesnih motivacija, koje se provode sredstvima psihoanalize i dubinske projekcije ličnosti. Tim se istraživanjem ukazalo na izravnu vezu između robe, njene opreme i izgleda, te predodžbi, najčešće potisnutih, koje potrošač ima o sebi i svojim problemima. Te su spoznaje dragocjena i temeljna pomoć u postupku planiranja proizvoda.[1]

#### **4.2. Planiranje proizvoda**

Planiranje proizvoda javlja se kao operativna znanstveno-metodološka disciplina radi smanjivanja rizika investicijskih ulaganja u razvoj proizvoda i njegovu proizvodnju. To je pokušaj znanstveno i metodološki utemeljenog dobivanja odgovora na pitanje lansiranja i plasiranja proizvoda na tržištu i njegova vršnog vijeka.[1]

Postoje rizici koje je potrebno razmotriti prilikom planiranja proizvoda prije razvoja. To su tehnološki rizik koji nam ukazuje u problem da li se proizvod uopće može tehnološki izraditi, te rizik tržišta, jer uvijek postoji rizik da se proizvod neće kupovati. Za razumijevanje i procjenu rizika potrebno je izraditi tehnički upitnik i napraviti definiciju cilja. U tehničkom upitniku formiramo pitanja kojim želimo definirati samu svrhu proizvoda, da li su zadovoljene potrebe kupaca, ima li limita na kreativni razvoj, koji su tehnički i tehnološki konflikti naslijeđeni u razvojne zadatke. Kao rezultat tehničkog upitnika trebala bi biti definicija ciljeva razvoja, opis proizvoda, primarno i sekundarno tržište, pretpostavke, kupci, limiti projekta. [3]

Narudžbe tehničkih proizvoda koje mora realizirati konstrukcijski ured, mogu biti narudžbe kupaca ili narudžbe vlastitog poduzeća.

Narudžbe kupaca:

- postojeći proizvod
- postojeći proizvod s izmjenama
- reklamacije
- popravci
- nove konstrukcije
- poboljšanja

Narudžbe vlastitog poduzeća:

- razvoj
- nove konstrukcije

Potencijalni kupac može biti informiran o vlastitim eventualnim potrebama za određenim proizvodima putem reklame, inserata, kataloga. On će se, radi točnijeg informiranja o nabavci željenog proizvoda obratiti, ili proizvođaču ili zastupniku tvrtke. Katalogi, prospekti i ostali materijali ne moraju služiti samoj reklami, već trebaju sadržavati sve važne podatke proizvoda kao što su: glavne dimenzije, težine, garantirane vrijednosti, a eventualno i dijagrame i jednostavne crteže. U najvećem broju slučajeva riječ je o narudžbama koje se proizvode serijski. Posebne želje kupaca odnose se tom slučaju na manje izmjene ili na dodatne uređaje. Na novim, još nedovoljno isprobanim proizvodima, mogu se javiti reklamacije, popravci ili prijedlozi za poboljšanje. Zadatak je konstruktora da utvrdi razloge primjedbi i da odgovarajućim promjenama izvrši poboljšanja radi uklanjanja nedostataka. Najveći zahtjevi postavljaju se konstrukturu pri traženju rješenja novih zadataka kupaca ili vlastitog poduzeća. Često se tek pokusima može doći do odgovarajućeg rješenja. Osim narudžbi kupaca, postavljaju se konstrukcijskim uredima zadaci koji se djelomično odnose na poboljšanje postojećih izvedaba. Podaci za potrebe poboljšanja prikupljaju se iz prodaje, montaže, kontrole, a uzimaju se u obzir i vlastita zapažanja. Poseban oblik zadataka konstrukcijskim uredima predstavljaju zadaci koji proizlaze iz težnje poduzeća da analizom tržišta inicira nova konstruktivna rješenja ili znatnija konstruktivna poboljšanja postojećih proizvoda. Ova rješenja vezana su često i na zaštićene vlastite patente, pa prema tome predstavljaju napredak u određenom tehničkom području. Pri ovim radovima konstruktor mora obratiti posebnu pažnju ekonomskim zahtjevima, tako da novi proizvod ne predstavlja samo poboljšanja u mogućnostima novih rješenja, već da i cijenom omogući uspješnu konkurentnost. Ako je riječ o izradi konstrukcije na temelju novih načela rješenja pri istom, promjenljivom ili novom zadatku, takav se proizvod zove novi proizvod. Prilagođavanjem nekog već poznatog načela na promijenjeni zadatak daje tzv. prilagođeni proizvod. Variranje veličina i razmještaja unutar granica odabranog koji se ne mijenja daje tzv. prilagođeni proizvod.[4]

## 5. TEHNOLOGIJSKO KONSTRUIRANJE OTPRESKA

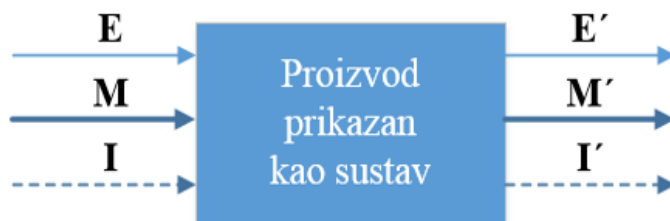
### 5.1. Polazišni postupci konstruiranja

U razvoju injekcijski prešanih otpresaka, s tehničkog stajališta, konstruiranje zauzima središnje mjesto. Konstruiranje obuhvaća sve aktivnosti koje su potrebne da se zamisao o nekom proizvodu pretvori u informacijski oblik tvorevine. Informacija koja je dana u obliku zahtjeva na proizvod, tijekom konstruiranja pretvara se u karakteristike konstruiranog proizvoda. Konstruiranje predstavlja sklapanje uglavnom poznatih elemenata u cjelinu koja još nije potpuno poznata. Svaki konstrukcijski zadatak moguće je riješiti analizom odgovarajuće količine različitih, već postojećih konstrukcijskih rješenja. Svaki proces konstruiranja moguće je podijeliti u manje, jednostavnije dijelove (faze, korake, etape, operacije konstruiranja). Dakle proces konstruiranja posjeduje strukturu. Konstruiranje treba uglavnom obavljati tim stručnjaka koji međusobno surađuju, nadopunjavaju se idejama i pogledima na odgovarajuće korake konstruiranja, te na samo konačno rješenje. Pri tome, valja osigurati dovoljno veliki informacijski kapacitet kako bi potrebne informacije bile dostupne svima. U klasičnom pristupu konstruiranju uglavnom se razmatra funkcija proizvoda, te se konstruira na temelju potrebe za zadovoljenjem njegove temeljne, tehničke funkcije. Često se pri konstruiranju zanemaruju proizvodnja i uporaba tvorevina, koje predstavljaju konstrukcijski zadatak. [5]

Predmet djelatnosti konstruktora je tehnički proizvod. Pod konstruiranjem treba razumjeti misaonu realizaciju tehničke ideje u praktično izvediv, upotrebljiv i ekonomski opravdan, tehnički proizvod. Konstruiranje se sastoji od misaone realizacije funkcionalne strukture koja omogućuje izvršenje ukupne funkcije tehničkog proizvoda. Tehnički proizvod promatra se pri tome kao „black box“ (crna kutija-nepoznanica), u kojem se vrši pretvorba ulaznih veličina (input) u izlazne veličine (output). Pri tome je konstrukcijskim procesom potrebno riješiti strukturu kao količinu elemenata sistema koji su relacijama međusobno povezani. Tehnička funkcija je svojstvo tehničkog proizvoda da određenu količinu ulaznih veličina, pod određenim uvjetima, prevede na određenu količinu ulaznih veličina, pod određenim uvjetima, prevede na određenu količinu izlaznih veličina. Funkcija opisuje proces koji realizira tehnički proizvod, a sastoji se od određenog broja operacija. Za opis funkcije može se koristiti definicijom, blok shemom, matricom itd. Općenito može svaki sustav na osnovi vlastite strukture ispunjavati veći broj funkcija (parcijalne funkcije) koje međusobno stoje u određenim relacijama. Tehnički proizvodi kao što su stroj, aparat, postrojenje, naprava, montažna grupa, strojni dio, služe u nekom tehničkom procesu u kojem se vrši ili bilo transport bilo pretvorba energije, materijala, signala (informacije). Prema



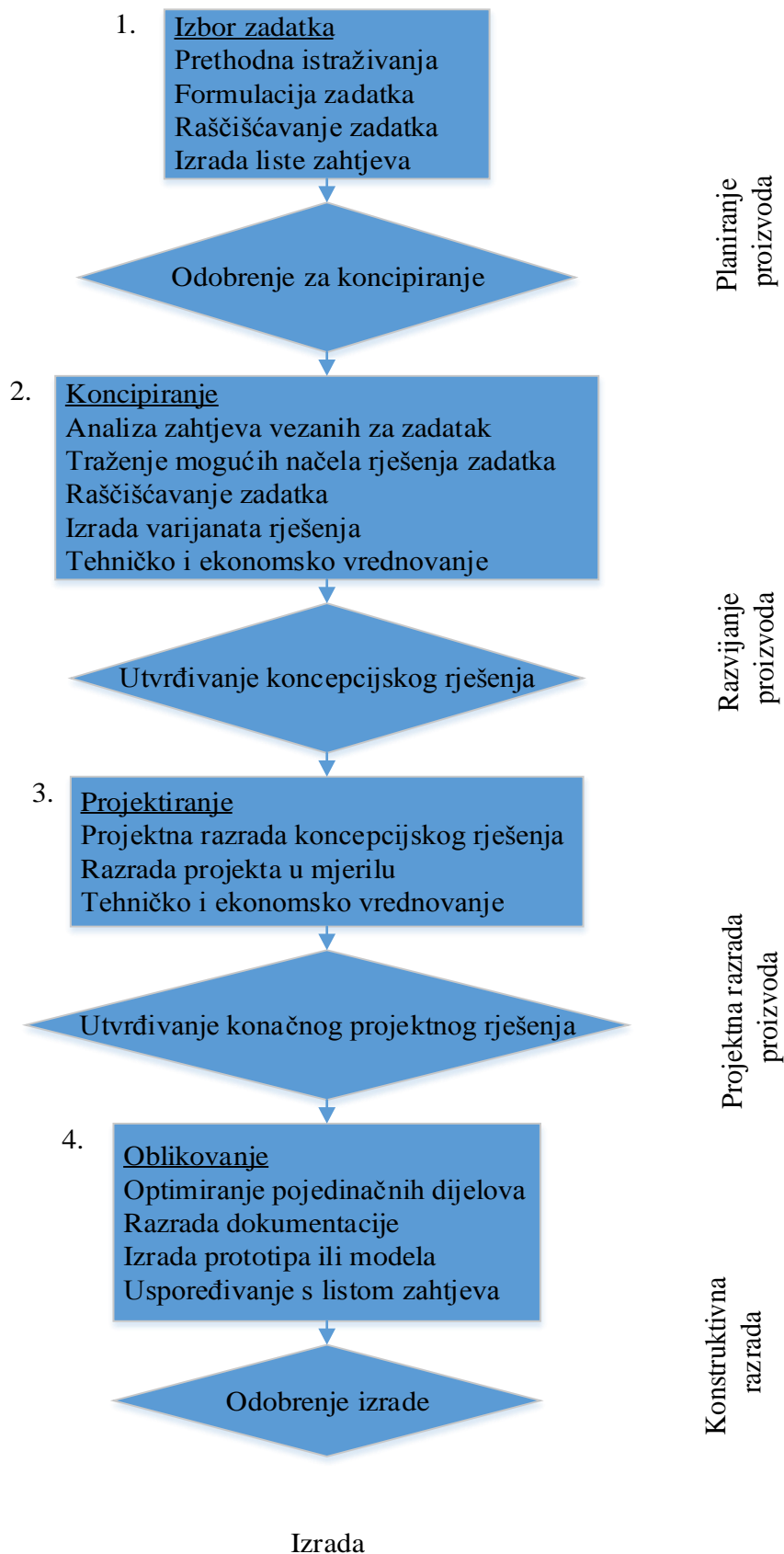
tome, u tehničkom sustavu postoji transport ili pretvorba energije, materijala, signala. Te pretvorbe moraju biti određene podacima o kvaliteti, kvantiteti i troškovima. Na slici 5.1 prikazan je zadatak razvijanja proizvoda kao sustava u kojem se vrši istodobna pretvorba energije, materijala, signala. Rješenje zadatka nije poznato. Zadatak se može opisati na osnovi ulaznih i izlaznih podataka, rješenje se pokazuje kao nepoznanica-black box.



Slika 5.1. Proizvod kao sustav u kojem se vrši pretvorba ulaznih veličina u izlazne [4]

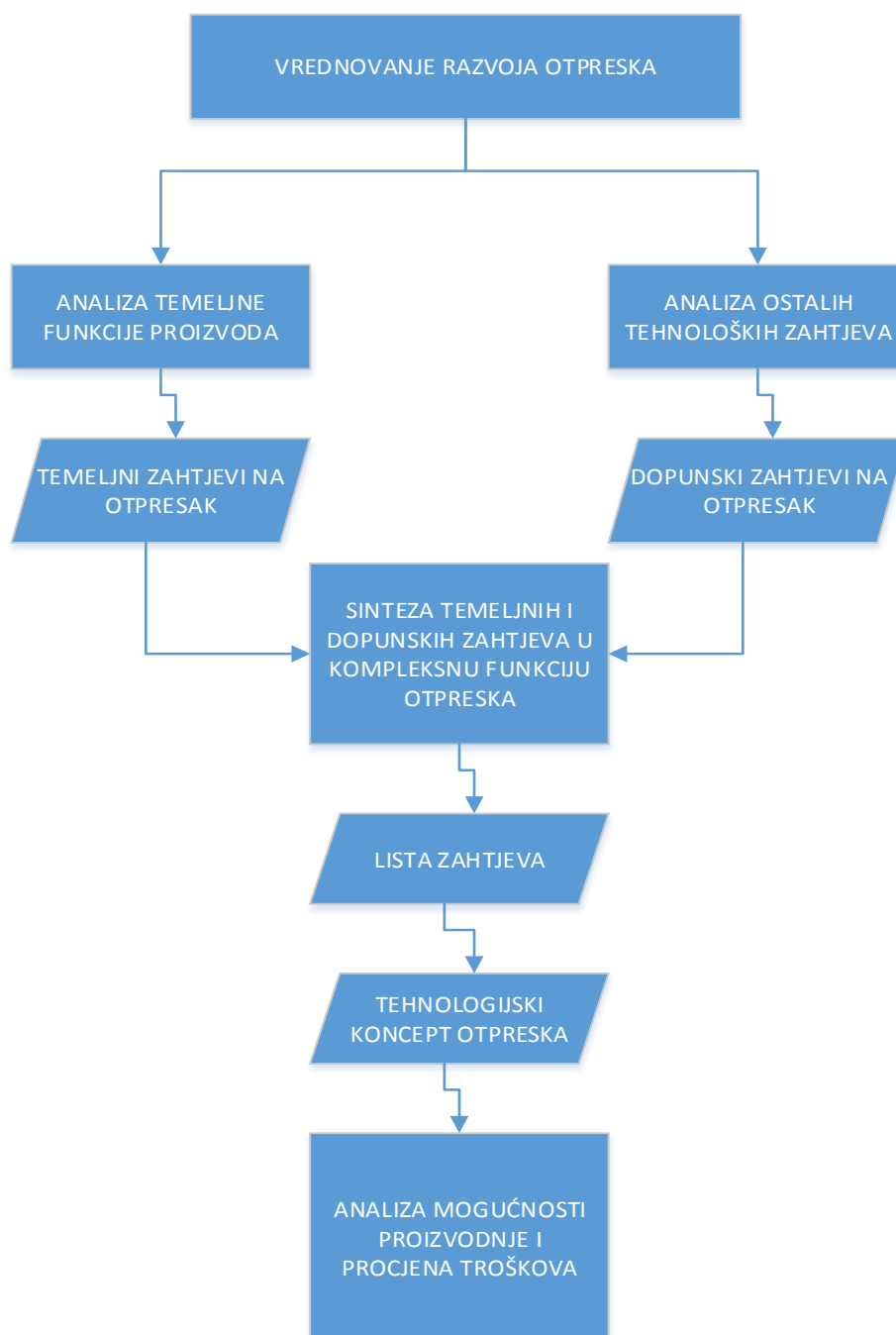
To zapravo znači da se zadatak u kojem se, kako je rečeno, može vršiti samo tok ili pretvorba energije, materijala, signala, mora potražiti i pronaći u „crnoj kutiji“. Za to traženo rješenje, ako se promatra kao sustav, mora postojati jednoznačna povezanost između ulaza i izlaza s mogućnošću reprodukcije. Ta povezanost između ulaza i izlaza je zapravo željena ili prinudna promjena: količine, kvalitete, troškova, energije, materijala, signala na ulazu, u količinu, kvalitetu, troškove, energije, materijala, signala na izlazu. Željeno ili prinudno zbivanje koje se odvija u uzročnoj zavisnosti između ulaza i izlaza radi izvršenja zadatka, nazivamo funkcijom. Ako je zadatak dovoljno preciziran, a to znači da su sve veličine i svojstva u odnosu prema ulazu i izlazu poznate, može se postaviti ukupna funkcija. Ova se u mnogo slučajeva može rastaviti na parcijalne funkcije koje predstavljaju parcijalne zadatke unutar ukupnog zadatka. Povezivanje parcijalnih funkcija u ukupnu funkciju dovodi do funkcionalne strukture koja, radi izvršenja ukupne funkcije, može biti varijabilna. Ovo što je rečeno o funkciji vrijedi bilo da je riječ o nekom proizvodu ili nekim ugradbenim (montažnim) grupama. Da bi se iz ukupne funkcije dobile parcijalne, a njihovim povezivanjem funkcionalna struktura, potrebno je naučiti se misliti pomoću ili preko funkcija. Da bi se zadatak oko koncipiranja metodički riješio, potrebno je za svaku parcijalnu funkciju naći odgovarajuće rješenje, te se može uočiti da za svaku parcijalnu funkciju postoji veći broj mogućih rješenja. Ako pomoću sistema klasifikacije izradimo tzv. morfološku kutiju (tablicu), dodajući svakoj parcijalnoj funkciji moguća rješenja, možemo međusobnim spajanjem pojedinih rješenja po sistemu snošljivosti, dobiti za postavljeni zadatak veći broj mogućih varijanti rješenja.[4]

Uzimanje u razmatranje tzv. kompleksne funkcije proizvoda, koja ujedinjuje sve postojeće zahtjeve u vezi s proizvodom, tehničke, društvene i gospodarske, nužnost je suvremenog pristupa razvoju, odnosno konstruiranju proizvoda. Međutim, pokazalo se potrebnim razlikovati tehnologijsko i tehnologično konstruiranje. Pristup razvoju i konstruiranju proizvoda sa stajališta njegove funkcije, proizvodnje i tehničke uporabe (uporabna svojstva npr. čvrstoća, žilavost...) naziva se tehnologično konstruiranje. S druge je strane tehnologijsko konstruiranje širi pojam, kojim se podrazumijevaju razvoj i konstruiranje proizvoda sa stajališta njegove tehničnosti, gospodarstvenosti i sociologičnosti. Kao i klasično, tehnologijsko konstruiranje može se podijeliti u tri faze: polazišni postupci ili razrada koncepata, središnja faza ili projektiranje, te završne aktivnosti konstruiranja ili razrada. [1]



Slika 5.2. Radni koraci procesa konstruiranja [4]

Slikom 5.3. shematski je predložena faza stvaranja koncepta otpreska kao skupina polazišnih postupaka u okviru njegova tehnologijskog konstruiranja.

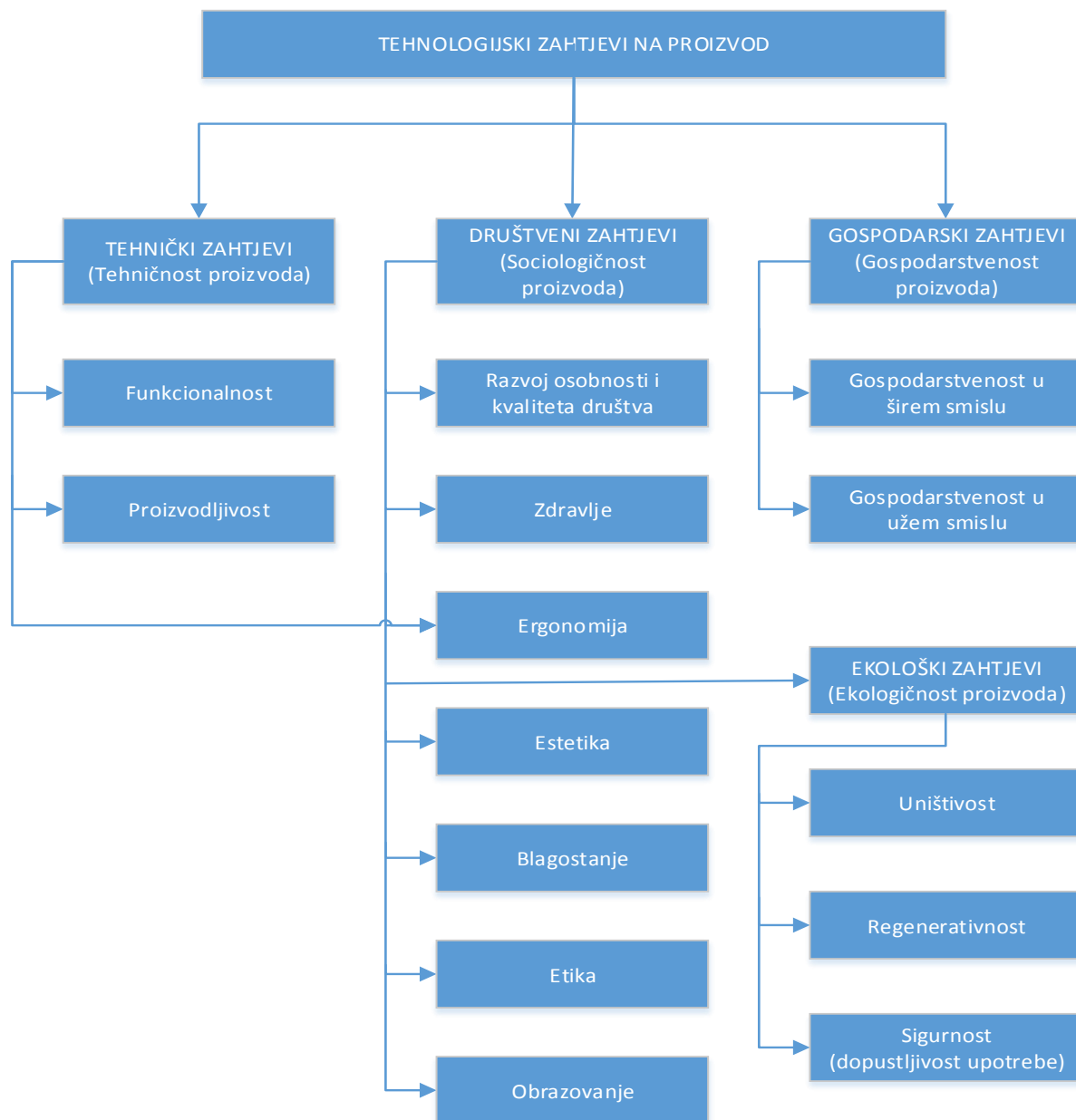


Slika 5.3. Polazišni postupci tehnologijskog konstruiranja otpreska [1]

Konstruktivno rješenje nekog sklopa i ugradbenih grupa i konačno konstruktivna rješenja oblika svih pojedinačnih dijelova, utvrđuje konstruktor na temelju postavljenih zahtjeva. Na prvom

mjestu to su zahtjevi funkcije (svrha). To znači da konstruktor mora ponajprije oblikovati funkcionalno ispravno, zatim mora uzimati u obzir izradu i obradu, a to znači da mora oblikovati i tehnološki ispravno, što se odnosi na izradu, obradu i montažu proizvoda. Osim funkcionalno i tehnološki ispravnog konstruktivnog oblikovanja, zajedničkim imenom nazvano tehnički zahtjevi (funkcija, izrada, obrada i montaža) , konstruktivnim oblikovanjem moraju biti zadovoljeni i ekonomski zahtjevi. Osim toga, potrebno je ispuniti i zahtjeve održavanja, posluživanja, pouzdanosti kao i ekološke zahtjeve.[4]

Sintezom temeljnih i dopunskih zahtjeva formira se lista zahtjeva. S obzirom na opisani tehnologijski pristup, rezultat tih aktivnosti jest stvaranje tzv. tehnologijskog (integralnog) koncepta otpreska, koji će udovoljiti svim potrebnim tehnologijskim zahtjevima (slika 5.4.) [1]



Slika 5.4. Kompleksni tehnološki zahtjevi u vezi s proizvodom [1]

Cilj je bio da se pokaže načelo razvijanja proizvoda, koristeći se načinom mišljenja preko funkcija i mogućnosti dobivanja većeg broja mogućih rješenja. Da bi se između većeg broja mogućih varijanti konceptijskog rješenja mogla odabrati najbolja, potrebno je pojedine varijante vrednovati. I za vrednovanje postoje razrađeni metodički principi. Opisano metodičko razvijanje proizvoda prikazano je kao mogućnost konceptijskog razvijanja novog proizvoda. Međutim, izrada sklopova i radioničkih crteža s optimiranjem i vrednovanjem provodi se također metodički. Korištenje računala moguće je u svakoj od navedenih faza metodičke konstruktivne razrade s tim

da svaka faza koncipiranje – projektiranje – razrada radioničkih crteža ima svoje specifičnosti. Sve ovo do sada predstavlja osnovu znanstvenog područja „nauka o konstruiranju“. Na istim načelima na kojima je prikazano metodičko razvijanje novog proizvoda, vrši se metodički i poboljšavanje nekog postojećeg proizvoda. Osim koncipiranja, metodički se provodi projektiranje i konstruktivna razrada radioničkih crteža.[4]

### **5.1.1 Vrednovanje tehnike**

Pri postavljanju svih potrebnih zahtjeva u vezi s proizvodom, nužno je vrednovati razvoj proizvoda, odnosno proizvod sam. To vrednovanje započinje već u fazi planiranja proizvoda (slika. 3.2.), a ovdje doživljava svoju konkretnu razradu. Cilj svih tehničkih djelovanja jest osiguranje i poboljšanje mogućnosti ljudskog življenja razvojem i smislenom uporabom tehničkih sustava. Stručna je zadaća inženjera prije svega da u tom cilju razvije tehničke sustave i osigura njihovu funkcionalnost. Pritom mora štedjeti raspoložive izvore sirovina, energije, rad, vrijeme, kapital itd. To dovodi do rješenja po kriteriju zahtjeva gospodarstvenosti.[1]

#### *5.1.1.1. Funkcionalnost*

Funkcionalnost tehničkog sustava očituje se u tome da se pri određenim uvjetima ostvaruje željeni učinak, a temelji se na strukturnoj građi sustava (ovdje proizvoda). Učinci služe potrebama čovjeka (kategorija upotrebljivosti). Određene učinke treba moći ostvariti raspoloživim tehničkim sustavima (učinljivost, proizvodljivost).[1]

#### *5.1.1.2. Gospodarstvenost*

Kod gospodarskih zahtjeva nužno je razlikovati gospodarstvenost u užem i širem smislu. U užem smislu gospodarstvenost razumijeva omjer između koristi i uloženog (rentabilnost). To je moguće postići odgovarajućom razinom proizvodnje ili poboljšanjem kvalitete proizvoda, što omogućuje minimiranje troškova. Gospodarstvenost širem smislu vezana je uz blagostanje kao društvenu kategoriju. Blagostanje treba shvatiti kao zadovoljavanje ljudskih potreba za dobrima i uslugama.[1]

#### *5.1.1.3. Kvaliteta okoline*

Ekološki zahtjevi su zahtjevi za kvalitetom okoline. Kako je danas zbog sve većeg pritiska javnosti zahtjev za recikliranjem proizvoda, posebice polimernih, jako naglašen, treba obratiti pozornost i o ekološkom konstruiranju proizvoda.[1]

Današnje pogoršano stanje okoliša ima više uzroka. Potrebno je spomenuti samo neke: od početka dvadesetog stoljeća stanovništvo Zemlje povećalo se gotovo četiri puta, potrošnja energije povećala se trideset puta, industrijska proizvodnja pedeset puta, a bruto – svjetski proizvod dvadeset puta. Jedan od velikih problema zaštite okoliša jest otpad, koji je čovjek uvijek proizvodio i koji, kao utrošak energije, prati svaku proizvodnju. Smanjenje nastajanja otpada rješava se primjenom materijala koji će omogućiti optimalno konstruiranje tvorevina s najmanjim mogućim utjecajem na okoliš. Pritom je poželjna provedba cjelovitog bilanciranja procesa proizvodnje i tvorevina od početka do kraja njihovog životnog vijeka. [6]

#### *5.1.1.4. Recikliranje polimernih materijala*

Polimerni otpad je često na udaru ekologa i javnog mišljenja, prije svega zbog nepoznavanja mogućnosti njegova uništenja ili recikliranja. Općenito pod recikliranjem polimera se podrazumijeva:

- recikliranje proizvoda
- recikliranje materijala
- recikliranje monomera i ostalih sastojaka.

Druga mogućnost je uništavanje polimernog materijala. Ono može biti vrlo učinkovito po okolinu i energijski. Naime, u usporedbi s klasičnim materijalima, polimeri zahtijevaju bitno manje energije pri njihovom polimeriziranju i proizvodnji uporabnih tvorevina. Polimerni materijali imaju visoku kalorijsku vrijednost, koja pri spaljivanju daje upotrebljivu toplinsku energiju.[1]

#### *5.1.1.5. Razvoj osobnosti i kvaliteta društva*

Razvoj osobnosti znači da čovjek svoje osobine, sposobnosti i sklonosti ostvaruje ponajviše u neprestanoj izmjeni s okolinom, odnosno u suživotu s prirodom i suradnji s drugim ljudima. Kako je čovjek nositelj tehnike, pred njega se postavlja niz zahtjeva. To su sloboda djelovanja, obaveštenosti i mišljenja. [1]

#### *5.1.1.6. Etika i obrazovanje*

Tehnika je čovjeku omogućila poboljšanje kvalitete života, no s druge strane dolazi do narušavanja prirodne ravnoteže (sječa šuma, zagađenja...), stoga se opravdano postavlja pitanje treba li čovjek proizvoditi sve što može. Etički principi moraju postati realnost u industrijskoj proizvodnji. Poduzeće treba razvijati socijalnu okolinu tako da unapređuje i nagrađuje pojedinačni odgovorni rad inženjera i da ga tako čini dijelom poduzetničke kulture.[1]



### 5.1.1.7. Zdravlje

Zdravlje u tom kontekstu znači psihičko i fizičko zdravlje. Tehnički, znanstveni i medicinski razvoj u posljednja dva stoljeća značajno je smanjio smrtnost djece i produljio očekivanje trajanje života. Usprkos nizu pozitivnih rezultata, tehničke tvorevine i postupci mogu štetiti, odnosno opteretiti okoliš. Neki postupci proizvodnje dovode do profesionalnih bolesti, koje treba zaštitom svesti na minimum.[1]

## 5.2. Središnja faza konstruiranja

Središnju fazu konstruiranja, koja se često naziva i projektnom, ponajviše karakterizira visoka uzajamna povezanost triju glavnih aktivnosti: oblikovanja, dimenzioniranja i izbora materijala.[1]

Pri projektnoj razradi potrebno je uzimati u obzir kako tehničke zahtjeve tako i ekonomske zahtjeve. Dosta je teško sve zahtjeve iz zadatka istovremeno uzimati u obzir, da bi već kod prve projektne razrade bili ispunjeni svi postavljeni zahtjevi. Zato se u prvoj projektnoj razradi počinje s manjim brojem zahtjeva. Tada se tako razrađeni pretprojekt iterativnim postupkom postupno poboljšava. To znači da razradom većeg broja stalno poboljšavane projektne razrade, nastoji doći do optimalnog rješenja (slika 5.5.).

### **Izrada prve projektne razrade**

Uzimanjem u obzir funkcije i izrade (grubi proračuni, primjena odgovarajućeg, ekonomski najpovoljnijeg, raspoloživog materijala i odgovarajuće ekonomski opravdane raspoložive tehnologije izrade i obrade).

### **Kontrola prve projektne razrade**

Uzimanjem u obzir daljnjih zahtjeva i korištenjem, prema potrebi, točnijih proračunskih metoda.

### **Izrada druge projektne razrade**

### **Kontrola druge projektne razrade itd.**

sve dok ne budu ispunjeni svi zahtjevi:

*Slika 5.5. Tok projektne razrade[4]*

U toku projektne razrade dolazi do neprestane izmjene između konstruktivnog prikaza i proračuna. Potrebne dimenzije proizvoda neprekidno se utvrđuju proračunom. Općenito se grubim

proračunom utvrđuju najprije približne dimenzije dijelova proizvoda (konstrukcije). Pošto se dio po dio projektne razrade nacrtu u približnom mjerilu postupno se, korak po korak, razrađuje dalje u mjerilu projektna dokumentacija. Pri kontroli prve projektne razrade uzimaju se u obzir daljnji zahtjevi i točnijim proračunima kontroliraju se dimenzije pojedinih dijelova proizvoda. Među zahtjeve koje treba već u prvoj projektnoj razradi uzimati u obzir nalaze se i zahtjevi vezani uz izradu i obradu. Zahtjevi izrade i obrade imaju važnu ulogu u svakom proizvodu. To je zapravo materija tehnološki ispravnog konstruktivnog oblikovanja. Područje tehnološki ispravnog konstruktivnog oblikovanja je vrlo široko, jer mora obuhvatiti sve tehnologije izrade i obrade važne u strojarскоj proizvodnji. Tehnološki ispravno konstruktivno oblikovanje strojnih dijelova je zapravo samo parcijalni dio procesa konstruiranja.

Pri konstruktivnom oblikovanju polimernih potrebno je voditi računa o ispravnom konstruktivnom oblikovanju u odnosu prema:

- Utjecajima okoline: prašine, pijeska, prljavštine, vlage, morske vode, pare, hladnoće, topline, zračenja, pritiska.
- Ekonomskim utjecajima: minimalnim troškovima izrade, montaže, kontrole, skladištenja, transporta.
- Utjecajima trošenja, vijeka trajanja, težine, volumena.

Prije nego što se pristupi traženju rješenja nekog konstruktivnog zadatka, potrebno je raščistiti sve uvjete koji pri rješavanju zadatka moraju biti uzimani u obzir. Zahtjevi koji, mogu biti postavljeni vezani uz zadatak jesu:

### 1. Učinak

Od svakog uređaja i svakog dijela zahtijeva se određeni učinak. Zahtijevani učinak ostvaruje se prikladnom primjenom različitih dijelova. Isti učinak može se ostvariti na različite načine.

### 2. Mehanička opterećenja

Ovdje je riječ o silama, titrajima, udarima, brzinama, ubrzanjima, koja proizlaze iz načina primjene. Prilikom razrade zadatka moraju sva opterećenja biti utvrđena. Ako ne postoje iskustveni podaci, moraju se teoretskim razmatranjima ili, u slučaju potrebe, pokusima prikupiti potrebni podaci za proračun.

### 3. Klimatski i kemijski utjecaji

Okolica mjesta upotrebe može imati jak utjecaj na proizvod. Tehnički proizvod mora biti otporan na vanjske utjecaje kao što su : visoke i niske temperature, kemijski utjecaji plinova, para, utjecaj vodenih rastopina soli, kiselina, lužina itd.

#### 4. Prostorni utjecaji

Ograničenje prostora.

#### 5. Veličina i težina

Iz ekonomskih razlog mora se nastojati da su dimenzije proizvoda što manje, ako zadatkom nisu postavljena ograničenja. Zahtjev za što manjom potrebom prostora i što nižim troškovima materijala ima primarni utjecaj za proizvod.

#### 6. Mogućnost transporta

Pri oblikovanju tehničkog proizvoda moraju se uzimati u obzir različite mogućnosti transporta. Pri tome imaju troškovi transporta velik utjecaj. Velike konstrukcije potrebno je zbog transporta konstruktivno podijeliti tako da se omogući transport. I pri malim proizvodima valja voditi računa o transportnim mogućnostima (npr. proizvodi osjetljivi na udare mogu se pogodno transportirati posebnim učvršćenjima ili dijeljenjem.)

#### 7. Rukovanje

Pri razmatranju problematike posluživanja potrebno je obratiti pažnju na to hoće li posluživati kvalificirani ili priučeni radnici. Na oblikovanje sredstava za rukovanje utjecat će vrsta proizvoda. Mnoga sredstva za rukovanje su standardizirana. Ako se sredstva za rukovanje slobodno oblikuju, potrebno je obratiti pažnju na kvalifikaciju poslužitelja i na vrstu proizvoda za kojeg se oblikuju sredstva za rukovanje.

#### 8. Održavanje

Ovdje se javlja nekoliko mogućih slučajeva. Ako bi eventualni popravak nekog jednostavnog dijela proizvoda stajao više nego što bi stajala njegova potpuna zamjena, onda konstruktivno rješenje mora omogućiti jednostavnu zamjenu. Često je uz uređaj potrebno provjeriti isporuku dijelova koji se brzo troše, kako bi sam kupac mogao izvršiti odgovarajuću zamjenu. U tom slučaju mjesta ugradnje i dijelovi koji se zamjenjuju moraju biti oblikovani tako da kupcu omoguće jednostavnu i brzu zamjenu dijelova. Neki uređaji mogu biti tako komplicirani da su za popravak i zamjenu potrebna posebna znanja. U tom slučaju konstruktivno rješenje mora onemogućiti kupca

da sam vrši održavanje, koje u tom slučaju obavlja ili proizvođač ili specijalizirane radionice popravak.

#### 9. Potrošnja energije

Posebnu pažnju potrebno je posvetiti što nižem potrošku energije. To od konstruktora zahtijeva da kod konstruktivnog oblikovanja proizvoda odredi sve one faktore koji imaju znatniji utjecaj na smanjenje utroška energije i da te faktore uzme u obzir. Ekonomičnost u potrošnji energije nekog proizvoda je siguran pokazatelj za kvalitetu proizvoda i predstavlja osnovu konkurentske sposobnosti, u odnosu prema starijim i manje savršenim proizvodima.

#### 10. Vijek trajanja

Za konstruktora je važno da ispravnim dimenzioniranjem, pravilnim izborom materijala i drugim mjerama osigura proizvodu dug vijek trajanja. Bilo bi idealno kad bi svi dijelovi nekog uređaja imali jednako dug vijek trajanja. Međutim, pojedini dijelovi najčešće imaju pod utjecajem mehaničkog, toplinskog ili kemijskog djelovanja, kraći vijek trajanja. Da u takvom slučaju ne bi bilo zastoja, potrebno je konstruktivno osigurati mogućnost lagane zamjene.

#### 11. Sigurnost pogona

Pouzdanost tehničkog proizvoda u trajnom pogonu je svojstvo koje se zahtijeva od svakog kvalitetnog proizvoda. Neometano izvršavanje radnih učinaka uređaja ovisi o pouzdanosti i sigurnosti djelovanja svih onih konstruktivnih elemenata koji sudjeluju u ostvarenju radnih učinaka. Od konstruktora se zato zahtijeva da se pro konstruktivnom oblikovanju obrati pozornost na nepovoljne utjecaje koji bi mogli dovesti do preopterećenja, trošenja i na ostale smetnje kojima su izloženi pojedini dijelovi i koji se efekti sigurnosti time javljaju.

#### 12. Troškovi eksploatacije

Ovi su troškovi u izravnoj vezi s utroškom energije. troškovi eksploatacije utječu najvećim dijelom na iskoristivost stroja ili postrojenja. Konstruktor mora, prema tome, voditi računa o svim ovim faktorima koji utječu na iskoristivost. U eksploataciji mogu, međutim, radi nestručnog rukovanja nastupiti gubici ulja, rashladne vode, goriva, plinova, pare itd. ovi gubici povećavaju, logično, eksploatacijske troškove.

#### 13. Broj izradaka

Za konstruktora broj izradaka ima presudnu važnost. Broj izradaka utječe na izbor materijala i tehnologije, a na taj način utječe na sam način konstruktivnog oblikovanja.

#### 14. Izgled

Estetsko oblikovanje predstavlja danas jedan od bitnih zahtjeva kojima također treba udovoljiti. Ti zahtjevi odnose se pretežno na vanjski izgled, tako da konstruktoru ostaje mogućnost višemanje funkcionalnog oblikovanja uređaja.

#### 15. Rokovi

Za svaki zadatak utvrđuje se rok isporuke. Rokove propisuje kupac. Međutim, rokovi su najčešće rezultat zajedničkog dogovora. Rokovi se mogu ustvrditi (isplanirati) sporazumno između konstrukcijskog ureda i pogona, posebno ako je riječ o novim proizvodima. Održavanje rokova često se u ugovorima iznuđuje propisivanjem penala za njihovo neodržavanje.

#### 16. Ukupni troškovi

Na rad konstruktora ukupni troškovi imaju posebno veliki utjecaj. Konstruktor mora nastojati da izbor materijala i način oblikovanja ekonomski tako podesi da ukupni troškovi ne budu veći od ugovorne cijene, tj. da cijena bude konkurentna.[4]

##### **5.2.1. Dimenzioniranje**

Pojava i razvoj računala, te različitih programskih paketa koji su namijenjeni razvoju i konstruiranju proizvoda, uvelike su ubrzali rad konstruktora. Razne simulacije koje nude takvi programski paketi, mogu vrlo pouzdano prikazati vrijeme ubrizgavanja u kalupe za injekcijsko prešanje, popunjavanje kalupne šupljine, koncentracije naprezanja otpresaka. Kod modeliranja složenijih proizvoda pomoći CAD programa, konstruktor ne mora crtati mnoštvo standardnih elemenata, jer takvi CAD programi sadrže „biblioteke“ standardnih elemenata (provrti, vijci, standardni elementi kalupa), što uvelike pridonosi brzini i kvaliteti konstruiranja proizvoda.

Konstruktor polimernih proizvoda može pristupiti strukturnim problemima dimenzioniranja na jedan ili više sljedećih načina:

- Iskustveno dimenzioniranje – na temelju poznatih postojećih rješenja.

Teško je nadomjestiti iskustvo konstruktora, međutim dinamičan razvoj industrije polimera rezultirao je manjkom iskusnih konstruktora polimernih proizvoda. Povijesno, dimenzioniranje polimernih proizvoda temeljilo se na osobnom iskustvu konstruktora ili generalnim pravilima „odokativne“ metode. Ovaj pristup dimenzioniranju naširoko se koristi za izradu polimernih proizvoda, pogotovo kad je riječ o ne-strukturnim ili vrlo lakim strukturnim primjenama. Koristeći ovaj pristup, odluke konstruktora temelje se na dobrim, ali i na lošim iskustvima. Vrlo iskusni

konstruktori, koristeći poznate materijale i jednostavnu geometriju mogu biti vrlo uspješni koristeći ovaj pristup. Međutim, kad je konstruktor suočen s proizvodom koji ima značajno drugačiji oblik, ili s proizvodom koji će se izrađivati koristeći nove ili nepoznate materijale, njegova prethodna iskustva mogu biti od male ili nikakve koristi. Postoji vjerojatnost da će velik broj proizvoda izrađen pomoću ove metode biti nedovoljno dobro konstruiran, što dovodi do preranog kvara proizvoda tijekom rada, ili kod montaže. S druge strane, proizvod koji je „predimenzioniran“ i vrlo dobro funkcionira tijekom rada, može biti da je neučinkovito konstruiran. Svojstva tog „predimenzioniranog“ proizvoda mogu služiti kao dobro iskustvo konstruktoru, te mogu utjecati na buduće odluke konstruiranja proizvoda. Proizvod možda neće zakazati tijekom uporabe, ali može biti kompliciraniji nego što je to potrebno, može koristiti više materijala i imati deblju stjenku nego što je potrebno, i što je najvažnije može biti skuplji za proizvodnju, nego što bi bio za neku drugu, pogodniju, opciju konstruiranja. Ako nema zamjene za iskustvo, vrlo je mala šansa da će se postići optimalna konstrukcija pomoću odokativne metode.

- Eksperimentalni pristup – temelji se na pouzdanoj analizi prototipne analize

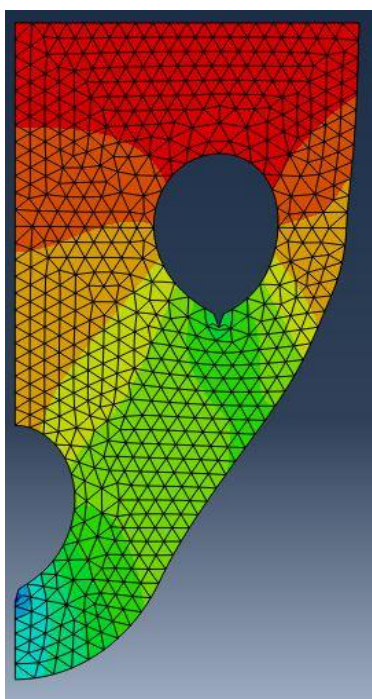
Konstruktor također može ocijeniti konstrukciju koncepta polimernog proizvoda isključivo na temelju eksperimentalnih ispitivanja provedenih na prototipu polimernog proizvoda. Ovaj pristup ima značajnu ulogu, te sadrži najkonzervativniji način konstruiranja proizvoda. Strukturno konstruiranje temelji se isključivo na analizi prototipa, a iterativna metoda će najvjerojatnije dovesti do pouzdane konstrukcije, pod uvjetom da je kvaliteta prototipa reprezentativna kvaliteti gotovog proizvoda, a da se predviđeni uvjeti rada mogu simulirati i ocijeniti. Kako god bilo, ovaj pristup je preskup i što je važnije može dugo potrajati, a to je pogotovo važno ako se ocjenjuju dugoročne posljedice poput puzanja i ekološke stabilnosti. Važno je napomenuti da se prototip kod razvoja polimernog proizvoda ne može izbjeći, jer eksperimentalna provjera inženjerskog konstruiranja je uvijek preporučljiva.

- Analitički pristup – temelji se na relacijama između naprezanja i deformacije

Strukturalne inženjerske relacije omogućuju konstruktoru uvid do kakvih će naprezanja i deformacija doći kad je polimerna tvorevina izložena mehaničkim silama ili nametnutim deformacijama. Rezultati takve strukturalne analize daju dobru bazu na kojoj se temelje inženjerske odluke, od kojih mnoge nisu instinktivno uočljive. Inženjerska analiza stvara samo procjenu koja prikazuje kakve se reakcije mogu očekivati od proizvoda koji se nalazi pod opterećenjem, jer nekoliko pretpostavki o svojstvima materijala, pravilnosti oblika, rubnim uvjetima, trebaju biti izvedene.

*Klasične formule za naprezanja i deformacije:* Formule su izvedene iz pretpostavku izotropnoga, homogenoga, elastičnog ponašanja materijala. Iako većina polimernih materijala ne pokazuje linearnu elastičnost, izotropno ponašanje, izračun je moguć za primjenu jednodimenzijskih ili višedimenzijskih naprezanja. Rezultat se može dobiti u relativno kratkom vremenu uz minimalne troškove. Konstruktor mora pregledati rezultate naprezanja koji proizlaze iz strukturne analize i pažljivo usporediti s dopuštenim naprezanjima koja se koriste za izradu proizvoda. [7]

*Analiza konačnih elemenata:* Metoda konačnih elemenata numerička je metoda koja je nezaobilazna u inženjerskim proračunima. Danas postoji velik broj računalnih programa temeljenih na toj metodi, koji omogućuju analizu konstrukcija bez razmatranja složene teorije koja opisuje fizikalno svojstvo konstrukcije. U ulaznim podacima potrebno je navesti rubne uvjete i opterećenja. Za analizu deformacija i naprezanja potrebne su konstante materijala koje je također potrebno navesti u ulaznim podacima. Za analizu izotropnih materijala to su modul elastičnosti i Poissonov koeficijent, a za anizotropne materijale, kao što je poznato u mehanici kontinuuma, potreban je veći broj konstanti. Također je više podataka potrebno za analizu u elastoplastičnom području. Potrebno je napomenuti da je metoda konačnih elemenata približna numerička metoda, te da su njezina rješenja približna, a uz pravilan izbor proračunskog modela i uz pravilno odabrane konačne elemente odstupanja od realnih vrijednosti biti će zanemarive.[9]



Slika 5.6. Prikaz naprezanja pomoću Metode konačnih elemenata [13]

### 5.2.2. Oblikovanje injekcijski prešanih proizvoda

Ispravno oblikovanje injekcijski prešanih proizvoda (otpresaka) podrazumijeva poznavanje specifičnosti i postupka izrade i ponašanja materijala budući da su njihovi utjecaji međusobno povezani i da zajednički djeluju na proizvod i njegove značajke (mehanička svojstva, točnost izmjera, oblika i sl.). Polimerni materijali u odnosu na metalne imaju manji omjer modula elastičnosti i čvrstoće, tj. deformabilniji su. To je svojstvo u određenim slučajevima povoljno pa se koristi npr. kod uskočnih spojeva i membranskih šarki. Kod nosivih elemenata, npr. kućišta, potrebno je postići što veću nosivost i krutost pa je to svojstvo nepovoljno. Potrebna čvrstoća i krutost u takvim se slučajevima postižu ispravnim oblikovanjem slijedeći zakone nauke o čvrstoći. Osobito je važno oblikovanje poprečnih presjeka elemenata opterećenih savijanjem, gdje su deformacije ionako velike. Kod njih treba odabrati oblike sa što većim aksijalnim momentom otpora  $W$  i što većim aksijalnim momentom tromosti  $I$  poprečnog presjeka.

Pri injekcijskom prešanju polimernih proizvoda najveću važnost za kakvoću otpresaka imaju:

- ubrizgavanje polimerne taljevine u kalupnu šupljinu
- hlađenje i skrućivanje taljevine
- izbacivanje proizvoda iz kalupne šupljine.[10]

#### 5.2.2.1. Ubrizgavanje polimerne taljevine u kalupnu šupljinu

Popunjavanje kalupne šupljine taljevinom vrlo je složen proces koji ima velik utjecaj na kasnija svojstva proizvoda. Zbog te složenosti klasično predviđanje tečenja i ponašanja taljevine u kalupnoj šupljini moguće je samo za jednostavne oblike. Za složene geometrije, za dobivanje potrebnih informacija, nužna je primjena numeričke analize, odnosno specijaliziranih komercijalnih programa. Ovu fazu ciklusa injekcijskog prešanja prate određene neizbježne pojave kao što su anizotropnost strukture materijala te nastanak linija spajanja i šupljina. Cilj je ispravnog konstruiranja je iskoristiti pozitivne utjecaje tih pojava na svojstva proizvoda, a negativne utjecaje spriječiti ili minimizirati. Hidraulički tlak u pogonskoj jedinici potreban je za savladavanje otpora tečenju materijala u mlaznici ubrizgavalice, uljevnom sustavu kalupa te kalupnoj šupljini. Visoki otpor tečenju uzrokuje nagli porast hidrauličkog tlaka tijekom faze obujamnog punjenja kalupne šupljine. Ukoliko dolazi do bitnijih promjena u hidrauličkom tlaku tijekom faze ubrizgavanja, to je pokazatelj određenih poteškoća pri popunjavanju kalupne šupljine. Općenito se preporučuje mjerenje tlaka u hidrauličkom sustavu tijekom ciklusa injekcijskog prešanja. [5,10]

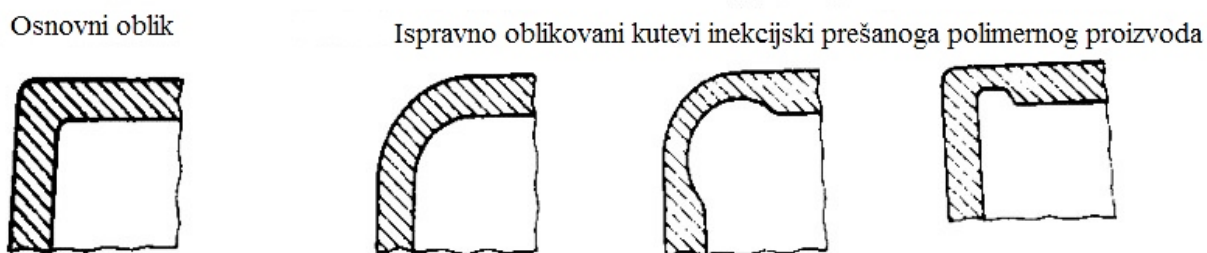


### 5.2.2.2. Hlađenje i skrućivanje taljevine

Temperatura taljevine izravno određuje termodinamička svojstva plastomerne taljevine kao što su viskoznost, entalpija i specifični obujam. Stoga temperatura taljevine ima izravan utjecaj i na neke parametre injekcijskog prešanja. Vrijeme hlađenja otpreska najčešće predstavlja najdulje vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja. Stoga je pri optimiranju ciklusa injekcijskog prešanja posebnu pozornost potrebno posvetiti određivanju vremena hlađenja otpreska. Do hlađenja i skrućivanja polimerne taljevine doalzi pri prijelazu topline iz taljevine na stijenke kalupa i zatim dalje na okolni zrak ili medij za tempereiranje. Vrijeme hlađenja plastomerne taljevine definirano je općim izrazom:

$$t_h = \frac{d^2}{K_o \pi^2 a_{ef}} \cdot \ln \left( K_u \cdot \frac{\nu_t - \nu_K}{\nu_{Po} - \nu_K} \right) \quad (5.1)$$

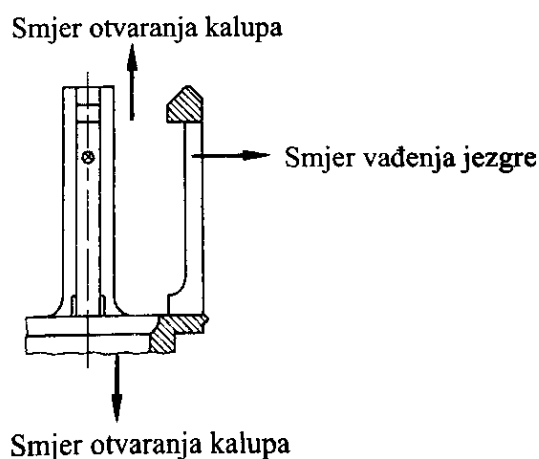
gdje su:  $t_h$  vrijeme hlađenja (s),  $d$  karakteristična izmjera proizvoda (mm),  $a_{ef}$  efektivna toplinska difuznost ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ),  $\nu_t$  temperatura taljevine u kalupu ( $^{\circ}\text{C}$ ) i  $\nu_{Po}$  temperatura izbacivanja otpreska iz kalupne šupljine ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $K_u$  koeficijent unutrašnjosti i  $K_o$  koeficijent oblika. Manje debljine stijenki proizvoda omogućavaju brže hlađenje i kraća vremena skrućivanja taljevine, čime se postiže i veća proizvodnost postupka. Budući da je debljina u izrazu stijenki pod kvadratom, već i mala razlika u debljinama stijenki ima za posljedicu znatne razlike u vremenima hlađenja. Stoga debljine pojedinih stijenki trebaju biti ujednačene. U suprotnom može doći do nepoželjnih rizika u stezanju polimera, pojave zaostalih naprezanja i deformiranja dijelova proizvoda, kao i stvaranja šupljina. Nerijetko se zbog stezanja materijala proizvod ili neki njegovi dijelovi deformiraju. Budući da ukupna vrijednost stezanja neposredno ovisi o debljinama stijenki, veće debljine stijenki proizvoda i druge nakupine materijala uzrokuju i veće stezanje. Na promjene izmjera i oblika proizvoda pri stezanju moguće je utjecati gotovo isključivo kontroliranjem brzine hlađenja dijelova proizvoda u kalupnoj šupljini. To je moguće postići kontrolom temperature pojedinih stijenki kalupne šupljine i jezgri i ispravnim oblikovanjem kritičnih dijelova proizvoda kao što su primjerice kutovi (slika 5.7).[5,10]



Slika 5.7. Primjeri konstrukcijskih mjera za izbjegavanje neželjenih deformacija u kutovima proizvoda [10]

#### 5.2.2.3. Izbacivanje proizvoda iz kalupne šupljine

Izbacivanjem proizvoda iz kalupne šupljine završava se proizvodni ciklus inekcijskog prešanja polimera. Po otvaranju kalupa dovoljno skrtnuti proizvod se iz njega obično izbacuje mehanički, primjenom raznih izbacivala u obliku štapića, čahura te pločastih elemenata, ili pneumatski, s pomoću stlačenog zraka. Stezanje materijala tijekom hlađenja i skrućivanja taljevine u kalupnoj šupljini uzrokuje prijanjanje proizvoda uz dijelove kalupa koji oblikuju njegove unutarnje plohe. Da bi se izbjegla oštećenja proizvoda i postigla mala sila izbacivanja, potrebno je da sve plohe paralelne sa smjerom izbacivanja iz kalupa budu izvedene s nagibom, odnosno pod kutom. Vrijednosti nagiba odnosno skošenja ovise o materijalu proizvoda i o izmjerama kritičnih dijelova proizvoda. Da bi se dodatno olakšalo izbacivanje iz kalupa proizvoda s umjerenim podrezima, poželjno je da i njihove stijenke koje su paralelne sa smjerom izbacivanja iz kalupa budu skošene. Osim toga, treba nastojati da rupe s podrezima budu kružnog presjeka. Naime, na mjestima oštih prijelaza kod rupa i otvora dolazi do velikih koncentracija naprezanja što prilikom nasilnog izbacivanja proizvoda iz kalupa može dovesti do njegova oštećivanja i loma. Kod proizvoda sa znatno podrezanim površinama nasilno izbacivanje iz kalupa moglo bi dovesti do oštećenja proizvoda ili kalupa. U takvim slučajevima podrezane površine potrebno je oblikovati primjenom posebnih dijelova poput pomičnih jezgri i umetaka u kalupu. Primjer takva proizvoda prikazan je na slici 5.8.



Slika 5.8. Uskočni element koji zahtijeva primjenu pomičnih jezgri u kalupu [10]

Ovakvi složeni oblici poskupljuju konstrukciju i izradu kalupa (15...30%), a kalupi su podložniji kvarovima i pojačanom abrazijskom trošenju. Posebnu je pozornost potrebno posvetiti pravilnom oblikovanju proizvoda i kalupa, kako bi se njihova konstrukcija bar donekle pojednostavnila.[10]

### 5.2.3. Pravila oblikovanja

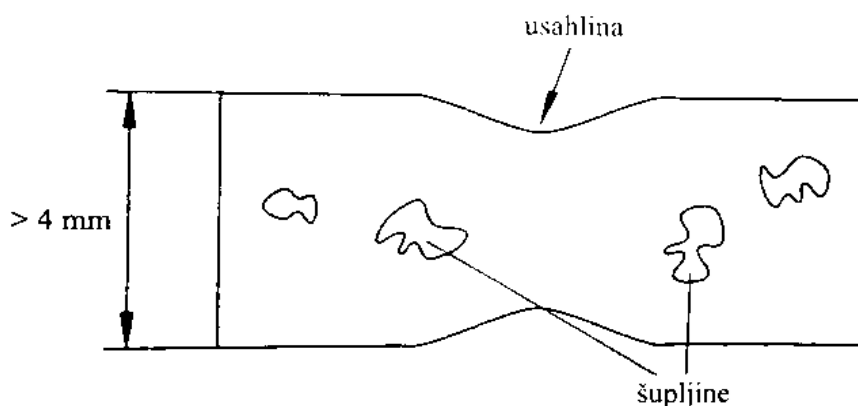
Temeljna pravila oblikovanja s obzirom na postupak injekcijskog prešanja, omogućuju proizvodnju kvalitetnijeg proizvoda, lakše montažno oblikovanje, manipuliranje, preoblikovanje, te kvalitetniju daljnju obradu odvajanjem čestica.

#### 5.2.3.1. Stijenke

##### **Pravilo 1.: Debljina stijenki proizvoda treba biti što manja**

Pri dimenzioniranju i konstrukcijskom oblikovanju poželjna je ujednačenost veličine presjeka i što je manja moguća debljina stijenke, čime dobivamo: jednoliko punjenje kalupne šupljine, jednoliko stezanje otpreska, snižen udio napetosti, kraći ciklus preradbe, manju masu otpreska, smanjenje troškova. Uobičajene debljine stijenki injekcijski prešanih polimernih proizvoda kreću se od 1 mm do 3 mm. Najmanje debljine stijenke kod malih proizvoda kreću se oko 0,4 mm, a kod iznimno velikih proizvoda (spremnici, kante za smeće) najviše do 6 mm. Debljine izvan tih granica potrebno je izbjegavati. Kod stijenki čija debljina prelazi 4 mm postoji opasnost da zbog neravnomjernog hlađenja dođe do mjestimičnog uvlačenja materijala s površine odnosno do nastanka usahlina ili do stvaranja šupljina – lunkera u središnjim slojevima. Budući da je materijal na površini u dodiru s hladnijom stijenkom kalupne šupljine, brže se hladi i skrućuje i prije poprima

svoj konačni oblik nego materijal u sredini. Stezanje materijala u sredini stijenke izraženije i zbog njega dolazi do neravnomjernog uvlačenja površinskih slojeva kako je prikazano na slici 5.9.



Slika 5.9. Moguće pogreške i deformacije proizvoda sa stjenkama debljina od 4mm [10]

Minimalna dopuštena debljina stijenki proizvoda ograničena je reološkim svojstvima taljevine. Taljevina veće viskoznosti zahtijeva stijenke veće debljine kako bi u potpunosti ispunila sve dijelove kalupne šupljine. Za grubu procjenu maksimalnog puta tečenja taljevine moguće je primijeniti sljedeće jednadžbe:

- za amorfne plastomere

$$L = 325 \cdot H^2 \quad (5.2)$$

- za kristalaste plastomere

$$L = 500 \cdot H^2 \quad (5.3)$$

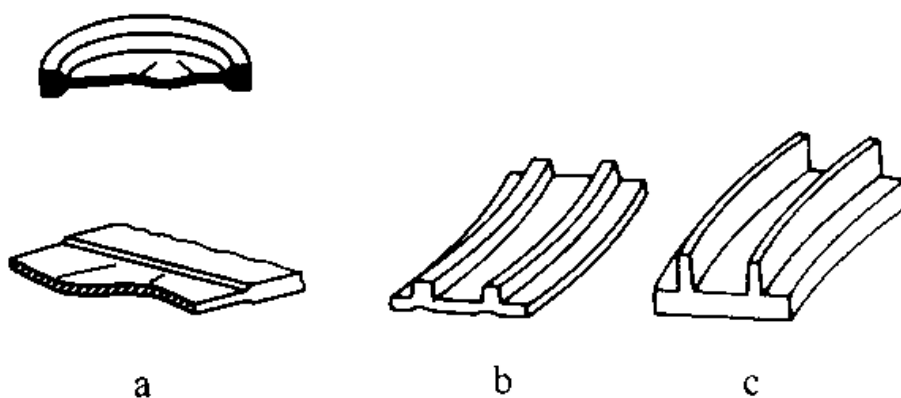
uz:

$$H = 2 \cdot \frac{b \cdot d}{b + d} \quad (5.4)$$

gdje su:  $H$  hidraulički polumjer (mm),  $L$  duljina puta tečenja (mm),  $b$  širina pravokutnoga kanala u kalupu (mm) i  $d$  visina pravokutnoga kanala u kalupu (mm). [1,10]

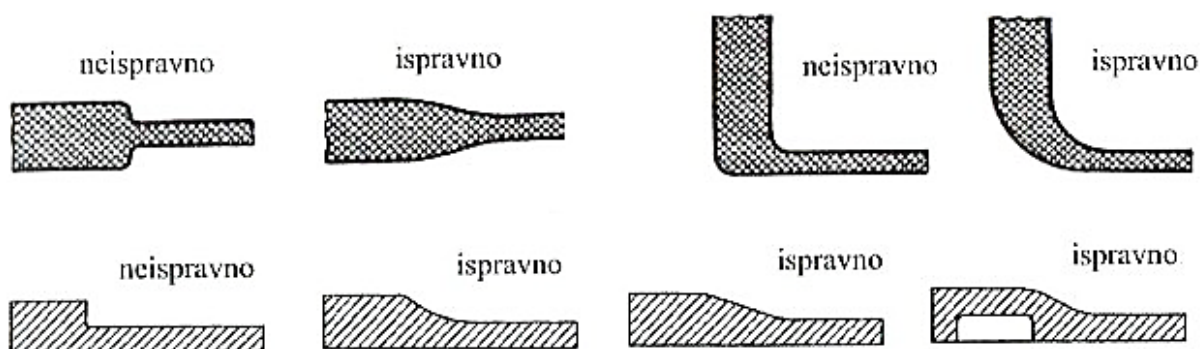
**Pravilo 2.: Debljina stijenki proizvoda treba biti ujednačena**

Materijal stijenki različitih debljina ne hladi se podjednako brzo pa je različito i stezanje materijala prilikom hlađenja i skrućivanja. Tanja stijenka brže se hladi i skrućuje pa je izložena djelovanju izrazitijeg stezanja deblje stijenke koja se sporije hladi. Tanja se stijenka zbog toga deformira (slika 5.10.), a u prijelaznom području pojavljuju se i zaostala naprezanja.



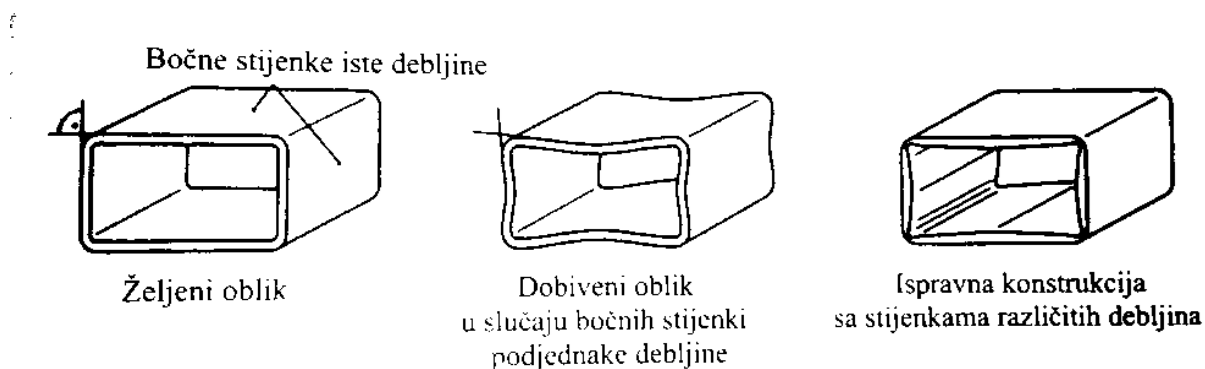
Slika 5.10. Primjeri deformacija proizvoda zbog bržeg hlađenja tanje stijenke: a) Deformiranje tanje stijenke koja se brže hladi; b) Savijanje ploče koja je tanja od rebara; c) Savijanje ploče koja je deblja od rebara[10]

Da bi se deformacije proizvoda takve vrste izbjegle, u prvom redu je potrebno izbjegavati razlike u debljinama stijenki. Ako to nije moguće, poželjno je prijelaze oblikovati na načine prikazane na slici 5.11, kako bi deformacije bile što manje.



Slika 5.11. Neispravno i ispravno oblikovani prijelazi između stijenki različitih debljina[6]

Kod svakog pravila postoje i određene iznimke. Primjer odstupanja od pravila da stijenke moraju biti podjednake debljine prikazan je na slici 5.12 na slučaju kutijastog proizvoda. Proizvod s podjednakim debljinama stijenki izložen je promjeni oblika zbog suviše velikih razlika u brzini hlađenja taljevine u kutovima kutije i središnjim dijelovima stijenki. Jedno je od mogućih (u ovom slučaju iznimka od pravila) povećanje debljine stijenki u središnjem dijelu kako bi se povećanim stezanjem nadoknadio utjecaj stezanja materijala u kutovima.[10]

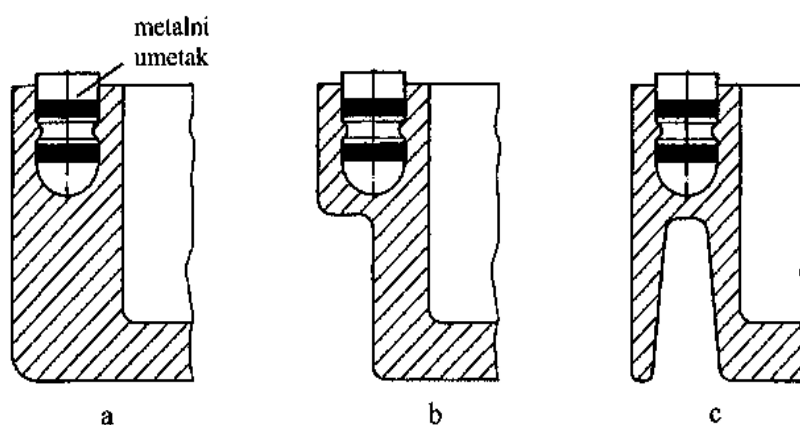


Slika 5.12. Deformacije kutijastog proizvoda s neispravnim debljinama stijenki i preporuke za njihovo ispravno oblikovanje[10]

#### 5.2.3.2. Gomilanje masa

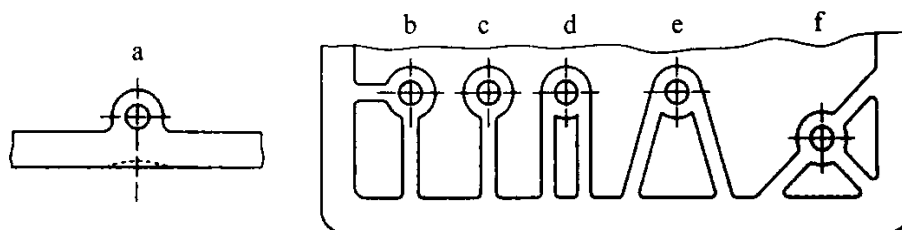
##### **Pravilo 3.: Treba izbjegavati gomilanje masa**

Gomilanje masa u nekim dijelovima proizvoda ima slično djelovanje na konačni oblik kao i stijenke prevelike debljine. Zbog sporijeg hlađenja i izraženijeg stezanja materijala, na mjestu gomilanja masa u njemu nastaju šupljine (lunker), mjestimične usahline te se stvaraju zaostala naprezanja. Na slici 5.13 prikazano je izbjegavanje gomilanja masa ispravnim oblikovanjem proizvoda. Jednostavno izbjegavanje nakupine materijala kod proizvoda (a) prikazano je na slučaju (b). U slučaju da konstrukcijski zahtjevi ne dozvoljavaju stepenastu vanjsku površinu ili je potreban izražen donji rub proizvoda, moguće je rješenje (c).



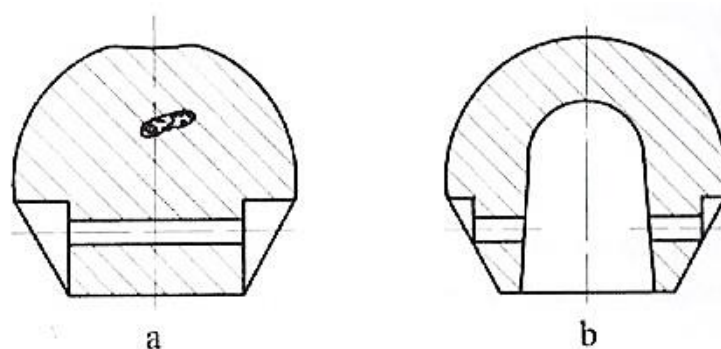
Slika 5.13. Izbjegavanje gomilanja masa ispravnim oblikovanjem proizvoda: a) neispravno; b) i c) ispravno[10]

Na slici 5.14 može se uočiti ispravno povezivanje rupa za vijke sa stijenkama proizvoda. Neispravan položaj i način spajanja sa stijenkom uzrokuje gomilanje masa i probleme zbog stezanja, kako je vidljivo u slučaju (a). slučajevi (b) do (f) su primjeri ispravno oblikovanog spoja rupe za vijak i stijenke proizvoda.

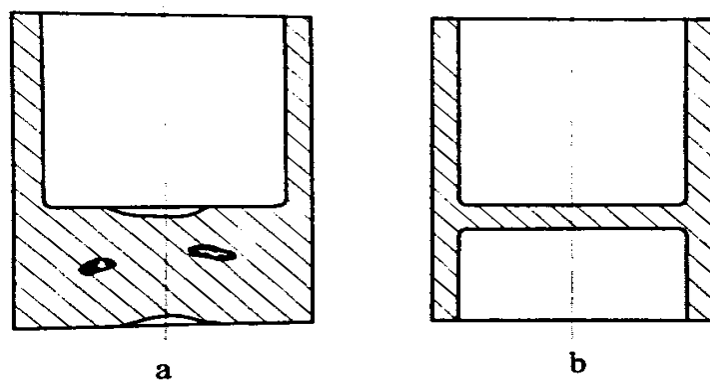


Slika 5.14. Povezivanje rupa za vijke i stijenke proizvoda: a) neispravno; b) do f) ispravno [10]

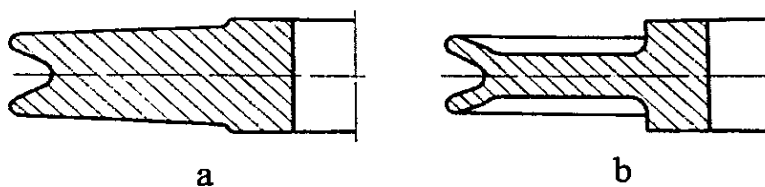
Na slikama od 5.15 do 5.22 prikazani su načini pravilnog oblikovanja kako bi se izbjeglo gomilanje masa te nastanka usahlina i šupljina u proizvodu.



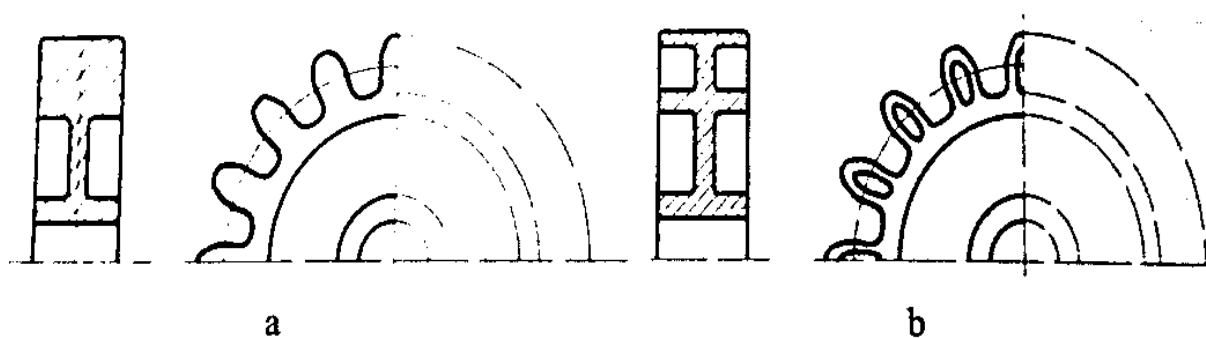
Slika 5.15. a) Neispravno oblikovan proizvod; b) Ispravno oblikovan proizvod [10]



Slika 5.16. a) Neispravno oblikovan proizvod; b) Ispravno oblikovan proizvod [10]

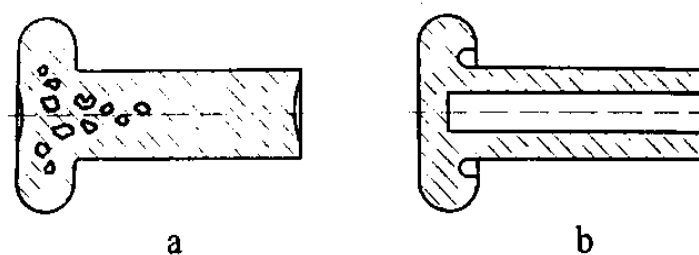


Slika 5.17. a) neispravno oblikovana užnica; b) Ispravno oblikovana užnica [10]

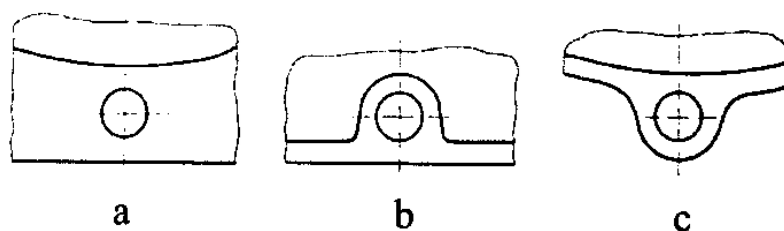


Slika 5.18. a) Neispravno oblikovan zupčanik; b) Ispravno oblikovan zupčanik; izbjegavaju se deformacija zuba i pojava šupljina u njima [10]

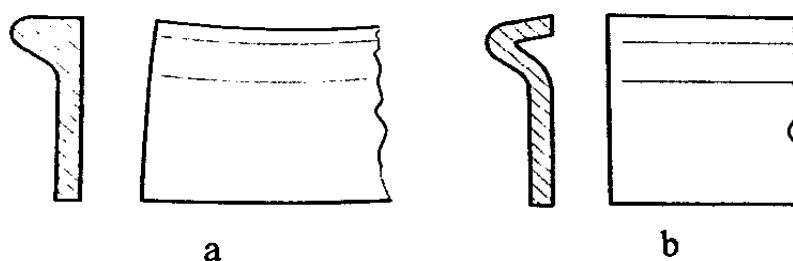




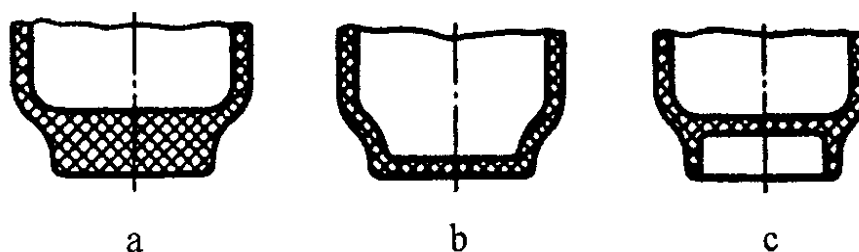
Slika 5.19. a) Neispravno oblikovan proizvod; b) Ispravno oblikovan proizvod [10]



Slika 5.20. Provrti za vijke na polimernom proizvodu: a) Neispravno oblikovanje; b) i c) Ispravno oblikovanje [10]



Slika 5.21. Proizvod s ojačanim rubom: a) Deformacija zbog gomilanja masa; b) Ispravan oblik [10]



Slika 5.22. a) Pogrešno oblikovan donji dio spremnika; b) i c) Ispravna konstrukcijska rješenja [10]

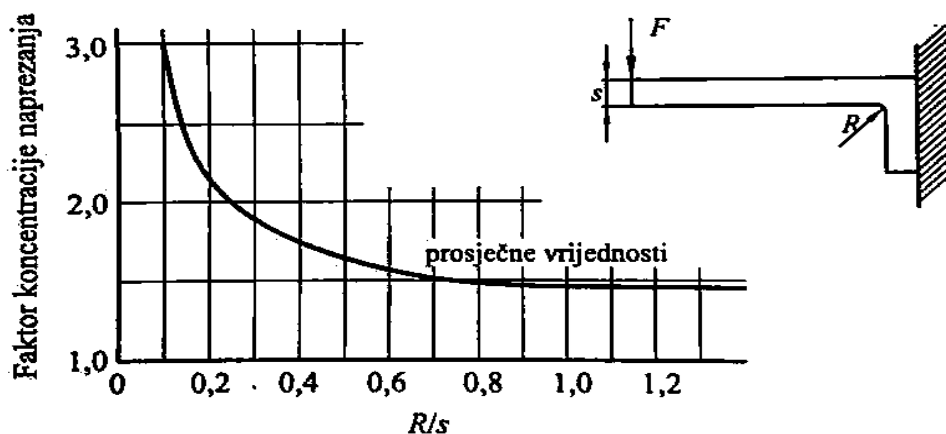
## 5.2.3.3. Kutovi i bridovi

**Pravilo 4.:** *Kutove i bridove potrebno je zaobliti*

Sve oštre prijelaze treba izvesti sa zaobljenjima jer se time: smanjuju koncentracije naprezanja u materijalu, olakšava tečenje taljevine u kalupnoj šupljini, olakšava vađenje otpreska iz kalupne šupljine, smanjuje gomilanje masa u kutovima i poboljšava i ujednačava hlađenje materijala u kutovima.

## a) Izbjegavanje koncentracija naprezanja

Polimeri su osjetljivi na koncentraciju naprezanja koja je vrlo često rezultat suviše oštih bridova i kutova. Da bi se spriječila pojava pukotina i smanjila opasnost od loma, poželjno je takve bridove i kutove izvesti sa zaobljenjem.



Slika 5.23. Dijagram ovisnosti faktora koncentracije naprezanja o omjeru polumjera zaobljenja  $R$  i debljine nosivog dijela kutnog elementa  $s$  [10]

Iz ovog i sličnih dijagrama dobiveno je okvirno pravilo za veličinu polumjera  $R$  s kojim je poželjno izvoditi zaobljenja prijelaza kod elemenata sličnih onome na slici 5.23:

$$R = (0.4 \dots 0.6)s \quad [1,10]$$

## b) Poboljšanje tečenja taljevine i trajnosti kalupa

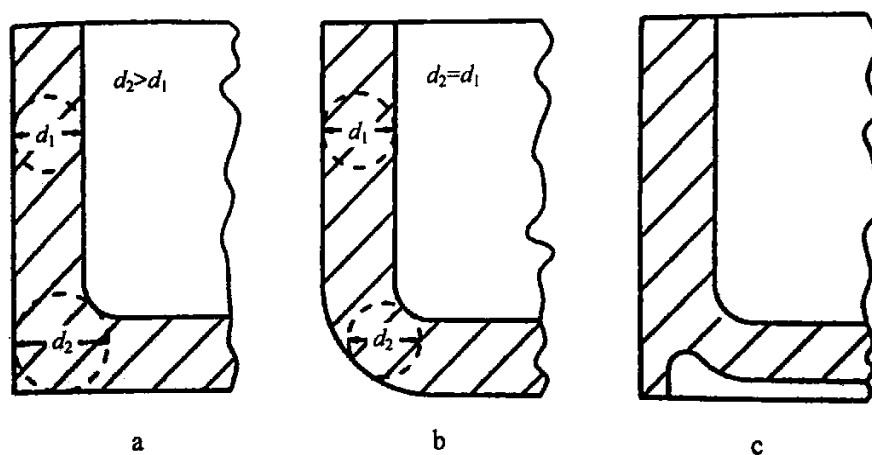
Zaobljavanjem kutova kalupa znatno se poboljšavaju uvjeti tečenja taljevine. Time se olakšava i izbacivanje proizvoda iz kalupne šupljine, a kalupu se povećava trajnost. Preporučene minimalne vrijednosti polumjera zaobljenja iznose  $R_{\min} = 0.2 \dots 0.5$  mm. Polumjeri te veličine u pravilu su bez

utjecaja na funkciju proizvoda, a izvedivi su i na mjestima gdje je konstrukcijski predviđen oštar brid.

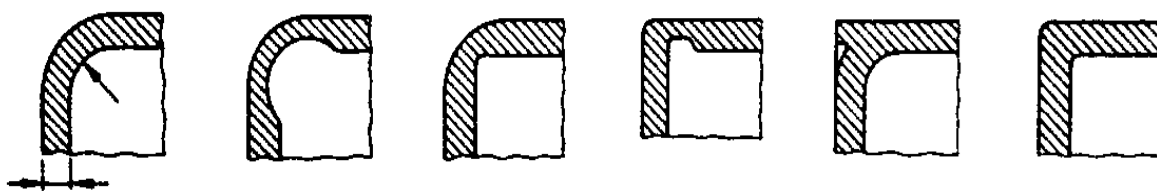
c) Smanjenje gomilanja masa i poboljšanje hlađenja u kutovima

Izvedbe kutova s oštrim bridovima najčešće za posljedicu imaju gomilanje masa. Osim toga, zbog njihova je oblika hlađenje materijala, a time i njegovo stezanje, dodatno neujednačeno. Iz tog razloga vrlo često dolazi do lokalnih deformacija površina proizvoda, stvaranja šupljina te promjena oblika proizvoda zbog deformacija u kutovima. Spomenute deformacije dijelova proizvoda posljedica su neujednačenog hlađenja taljevine u dijelovima kalupa koji oblikuju kutove proizvoda. Dijelovi koji nisu u izravnom dodiru sa stjenkom kalupne šupljine sporije se hlade. Stezanje materijala na tim je mjestima dugotrajnije i izraženije te se zbog toga deformiraju dijelovi proizvoda koji su se već ohladili i skrutnuli, a moguć je i nastanak šupljina (lunkera) u proizvodu.[1,10]

Primjeri zaobljavanja oštirih bridova i kutova te dodatne konstrukcijske mjere kojima je spomenute negativne pojave moguće izbjeći prikazani su na slikama 5.24 i 5.25.



Slika 5.24. Oblikovanje i dimenzioniranje kutova polimernog proizvoda: a) neispravno; b) i c) ispravno [10]



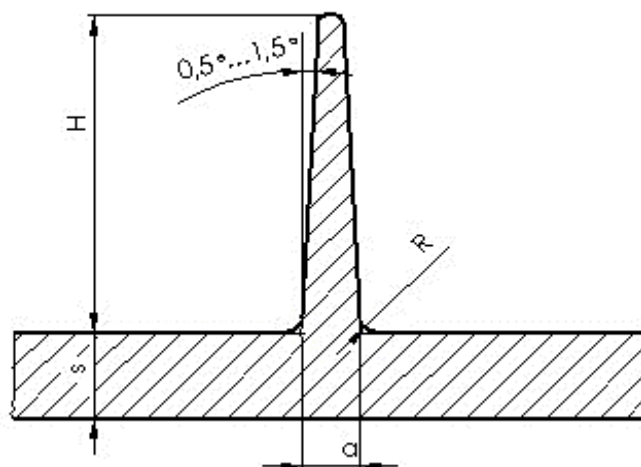
Slika 5.25. Pregled nekih ispravnih načina oblikovanja kutova polimernih proizvoda [10]

#### 5.2.3.4. Rebrasta ojačanja

**Pravilo 5.:** Rebrasta ojačanja treba oblikovati na način da se istodobno izbjegne gomilanje masa, nastanak usahlina te deformiranje proizvoda.

Povećanje krutosti, a time i čvrstoće polimernih proizvoda, postiže se u prvom redu primjenom rebrastih ojačanja, a ne povećanjem debljine stijenki. Dodatne su prednosti takva rješenja uštede u materijalu, skraćivanje trajanja proizvodnog ciklusa te izbjegavanje gomilanja masa. Prilikom oblikovanja proizvoda s rebrastim ojačanjima treba imati na umu da neispravno oblikovana rebra mogu uzrokovati negativne pojave – šupljine, deformacije, koncentracije naprezanja i otežano izbacivanje proizvoda iz kalupa. Pomoću rebara efikasno se povećavaju čvrstoća i krutost polimernog proizvoda, što je osobito važno kod dijelova koji su opterećeni na savijanje i torziju. Rebra opterećena na savijanje treba postavljati u vlačne zone i to u smjeru naprezanja. U odnosu na debljinu stijenke  $s$ , preporučuju se sljedeće izmjere (slika 5.26):

- visina rebra:  $H = (2,5 \dots 3 \dots 5)s$
- debljina rebra:  $a = (0,4 \dots 0,5 \dots 0,8)s$
- polumjer zaobljenja:  $R = (0,25 \dots 0,4)H$ , odnosno  $R = (0,3 \dots 0,5)\text{mm}$
- razmak paralelnih rebara:  $(2 \dots 3)H$

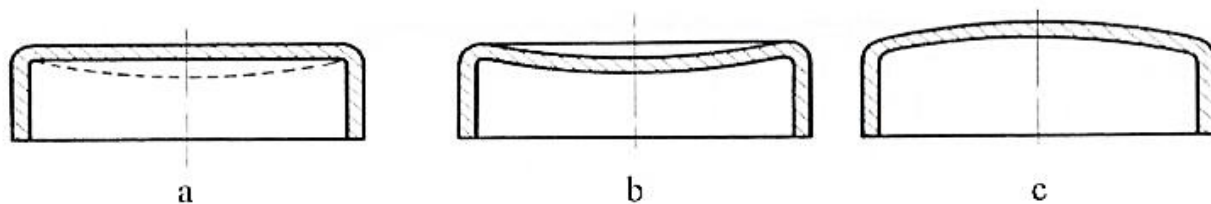


Slika 5.26. Preporučeni oblik rebrastog ojačanja [10]

#### 5.2.3.5. Velike plohe

**Pravilo 6.:** Treba izbjegavati velike i ravne plohe.

Glavni razlog zbog kojeg treba izbjegavati velike i ravne plohe je vrlo teško postizanje upravo njihove ravnosti. Krutost takvih ploha je vrlo mala tako da već i mala naprezanja uzrokuju njihovo deformiranje i nepravilan, odnosno neželjen oblik. Velike plohe poželjno je oblikovati zakrivljenima (udubljenima ili izbočenima) – slike 5.27 i 5.28, sa stepenastim prijelazima ili uz dodatna orebrenja kako bi se njihova krutost povećala. Dodatna je prednost tako oblikovanih ploha što su neželjene deformacije i manje primjetne.

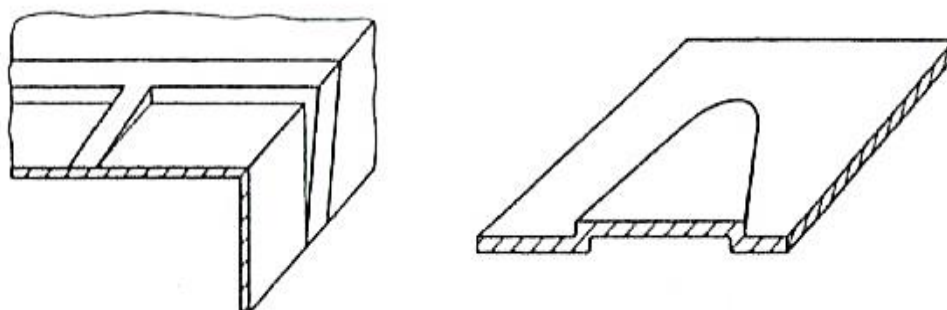


Slika 5.27. a) Velike ravne plohe podložne deformacijama; b) Povoljnija blago udubljena ploha; c) Povoljnija blago izbočena ploha[10]

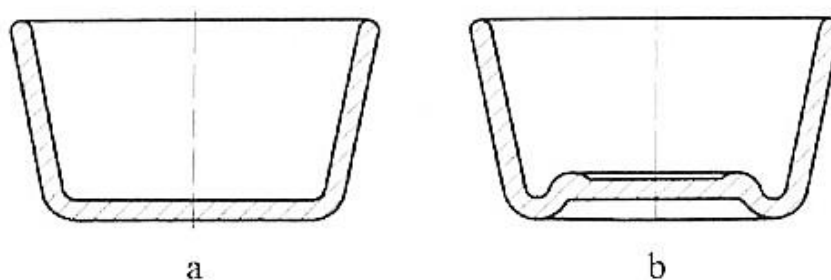


Slika 5.28. a) Neispravno oblikovan polimerni poklopac; b) Ispravno oblikovan poklopac[10]

Stepenasti prijelazi na velikim ravnim ploham također povećavaju krutost i stabilnost oblika plohe (slika 5.29), a u nekim slučajevima i stabilnost cijelog proizvoda (slika 5.30). osim što se podjelom velike plohe na više manjih poboljšavaju mehanička svojstva proizvoda, njima se može utjecati i na estetiku konačnog proizvoda.



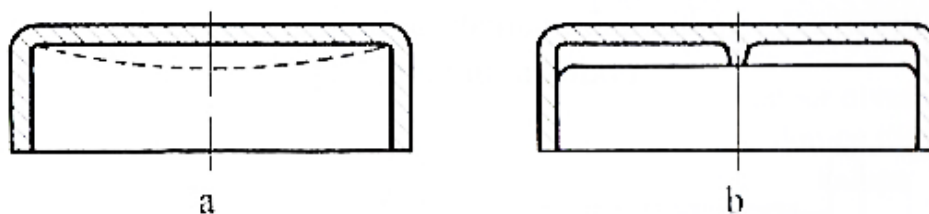
Slika 5.29. Primjer plošnih proizvoda kojima su krutost i stabilnost povećane stepenastim oblikovanjem[10]



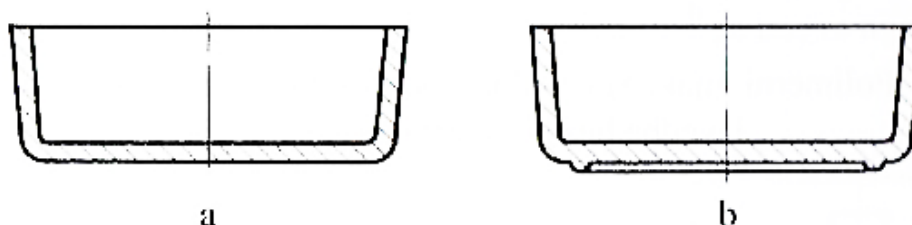
Slika 5.30. a) Loše oblikovanje; b) Povećanje krutosti podne površine i stabilnosti primjenom stepenastih prijelaza između površina proizvoda[10]

Ako zbog funkcijskih ili estetskih razloga ravne plohe nije moguće izbjeći, potrebno ih je ukrutiti dodavanjem rebrastih ukrućenja, slika 5.31, međutim tada su gotovo neizbježne dodatne dorade i izmjene kalupa. Kod velikih proizvoda s podnim površinama, kao što je to slučaj s različitim

polimernim spremnicima, poželjno je povećati njihovu krutost i stabilnost dodatno izraženim rubom i/ili rebrastim ukrućenjima kao što je prikazano na slici 5.32.



Slika 5.31. Površine koje moraju biti ravne: a) Neukrućene plohe će se deformirati; b) Dobra konstrukcija s rebrastim ukrućenjima[10]

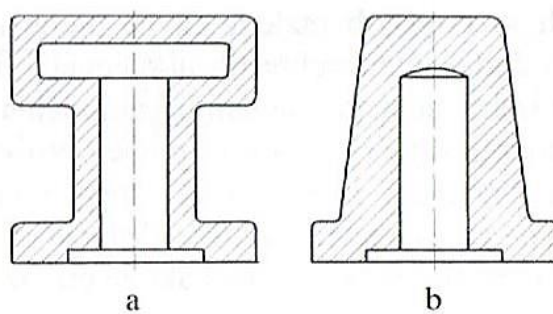


Slika 5.32. a) Nepovoljna izvedba polimernog spremnika s ravnim dnom; b) Poboljšana izvedba dna s izraženim rubom[10]

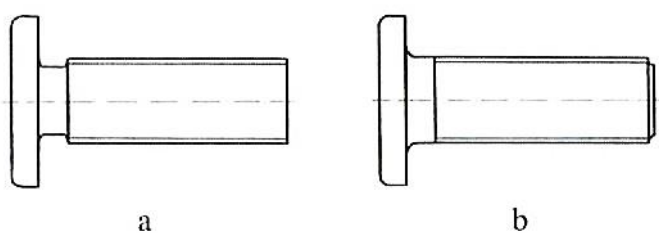
#### 5.2.3.6. Podrezane površine

**Pravilo 7.:** Treba izbjegavati podrezane površine i/ili pojednostavniti njihovu izradu.

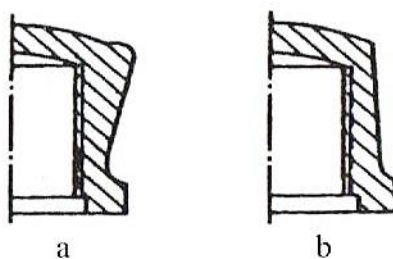
Podrezane (uvučene) površine na proizvodu, tzv. *podrezi*, kompliciraju i poskupljuju izradu. Podrezi postavljaju dodatne zahtjeve na kalup, a vrlo često zahtijevaju složene elemente koji su pomični poprečno u odnosu na smjer vađenja proizvoda iz kalupne šupljine. Stoga već u fazi oblikovanja proizvoda podreze treba pokušati izbjeći ili njihov oblik maksimalno pojednostavniti kako bi se minimizirali navedeni nedostaci (slike 5.33 do 5.36).



Slika 5.33. *Proizvod s podrezanim vanjskim i unutarnjim ploham; b) Proizvod bez podreznanih ploha [10]*

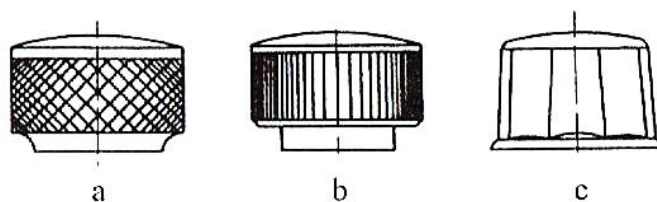


Slika 5.34. *Polimerni vijak: a) Izvedba s podrezanom površinom; b) Povoljnija izvedba bez podrezane površine[10]*



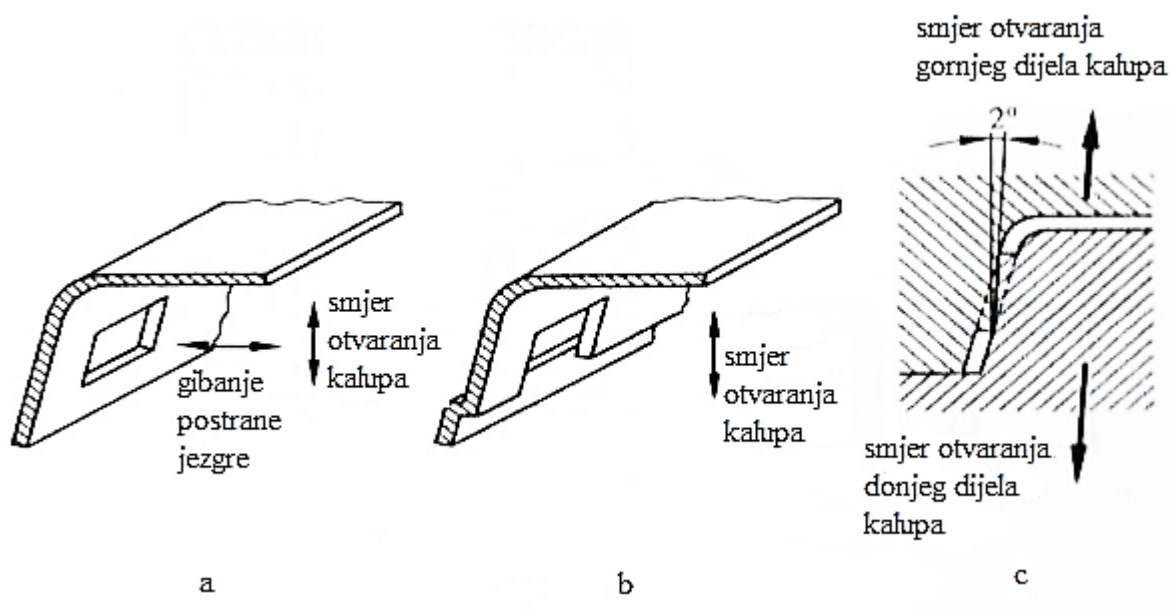
Slika 5.35. *Polimerni čep s unutarnjim navojem: a) Izvedba s podrezanim vanjskim ploham; b) Jednostavnija izvedba bez podreza[10]*



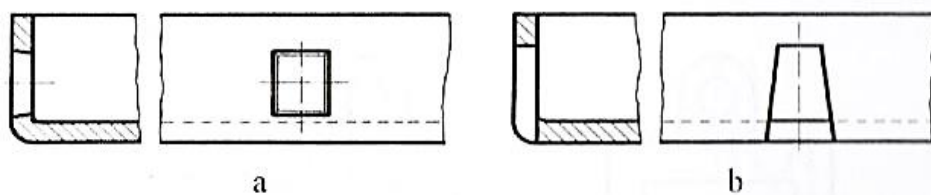


Slika 5.36. Dugme s nareckanim površinama za hvatanje: a) i b) Izvedbe s podrezima; c) Povoljnija izvedba bez podreza[10]

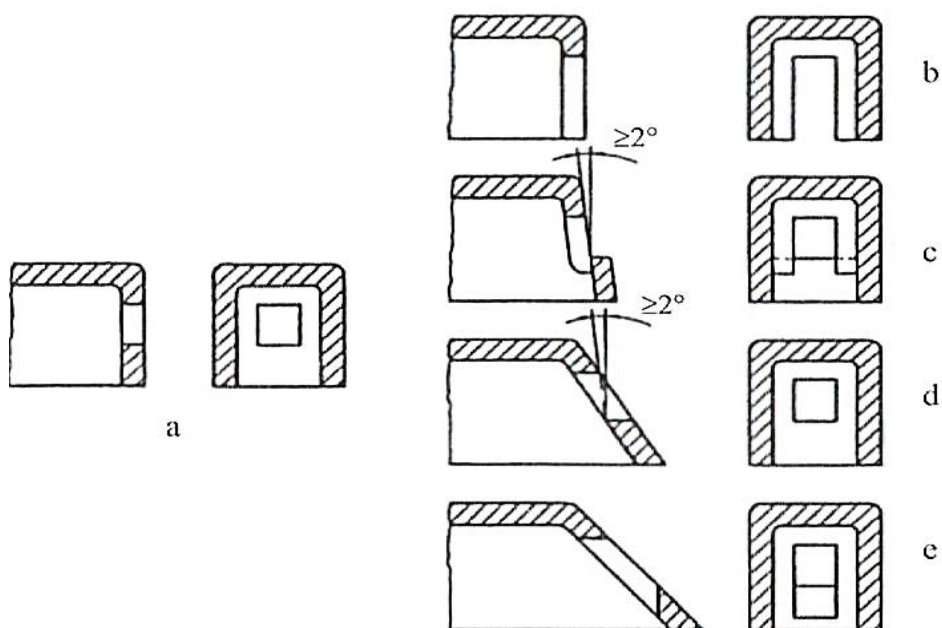
Bočne otvore u proizvodu koji zahtijevaju i bočno pomične dijelove kalupa (jezgre) treba izbjegavati ili pojednostavniti. Slike 5.37 do 5.41 prikazuju nekoliko uspješnih izvedbi.



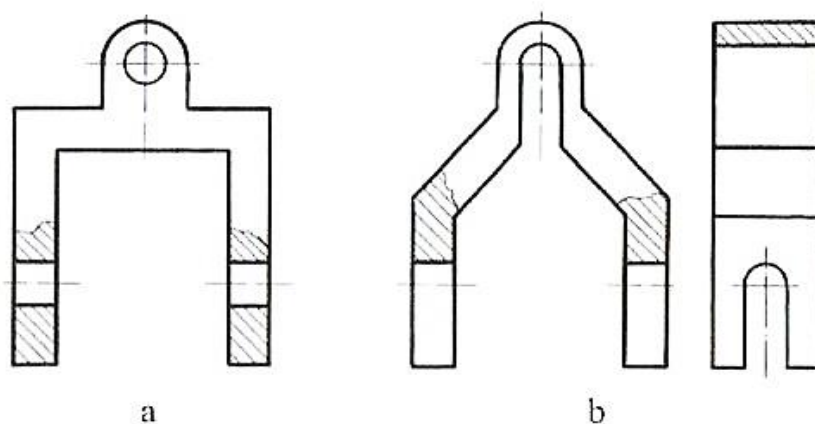
Slika 5.37. Proizvod s bočnim otvorom: a) Izvedba koja zahtijeva postrane jezgre za oblikovanje bočnog otvora; b) Preoblikovanjem stijenke jezgra nije potrebna; c) Izvedba pri kojoj se dijelovi kalupa djelomično dodiruju pa jezgra nije potrebna[10]



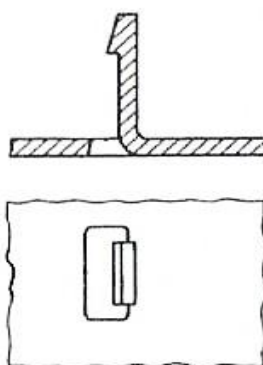
Slika 5.38. a) Proizvod s bočnim otvorom u izvedbi koja zahtijeva postrane jezgre; b) Bolja izvedba pri kojoj jezgre nisu potrebne[10]



Slika 5.39. a) Proizvod s bočnim otvorom, tj. podrezom koji zahtijeva jezgre; b) do e) Različite mogućnosti izrade bočnog otvora bez korištenja pomoćnih jezgri[10]

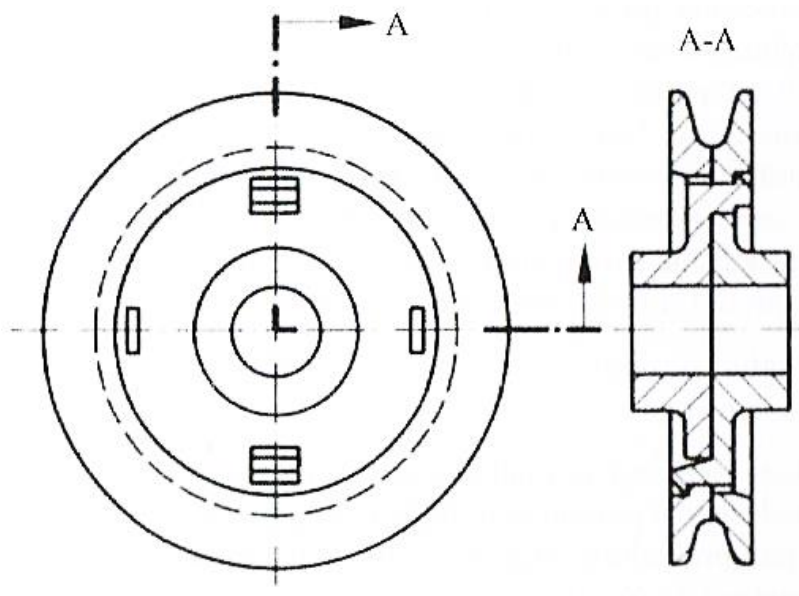


Slika 5.40. a) Oblik proizvoda s podrezom koji zahtijeva primjenu pomičnih jezgri; b) Poboljšana izvedba bez podreza[10]



Slika 5.41. Proizvod s podrezanim elementom koji se zahvaljujući donjem otvoru može izraditi bez primjene pomičnih jezgri [10]

Ako podrez nije moguće izbjeći, poželjno je pokušati pojednostavniti proizvod, a time i izradu dijelova s podrezom. Neke složene proizvode moguće je izraditi od više dijelova koji se naknadno međusobno spajaju. Primjer za to je užnica izrađena od dvaju međusobno identičnih dijelova koji se spajaju elastičnim kvačicama (uskočna veza), slika 5.42.



Slika 5.42. Užnica izrađena od dvaju jednostavnijih dijelova koji se naknadno spajaju u cjelinu [10]

#### 5.2.3.7. Izmjere, tolerancije i kvaliteta površine

**Pravilo 8.:** Dijelove treba izrađivati točno i kvalitetno samo koliko je potrebno, a ne koliko je moguće

Ovo pravilo ima univerzalno značenje kod konstruiranja i izrade pa tako ni polimerni materijali nisu iznimka. Zahtjevi za visokokvalitetno obrađenim površinama i uskim tolerancijama povećavaju stupanj složenosti i troškove izrade te ih stoga treba propisivati s oprezom.

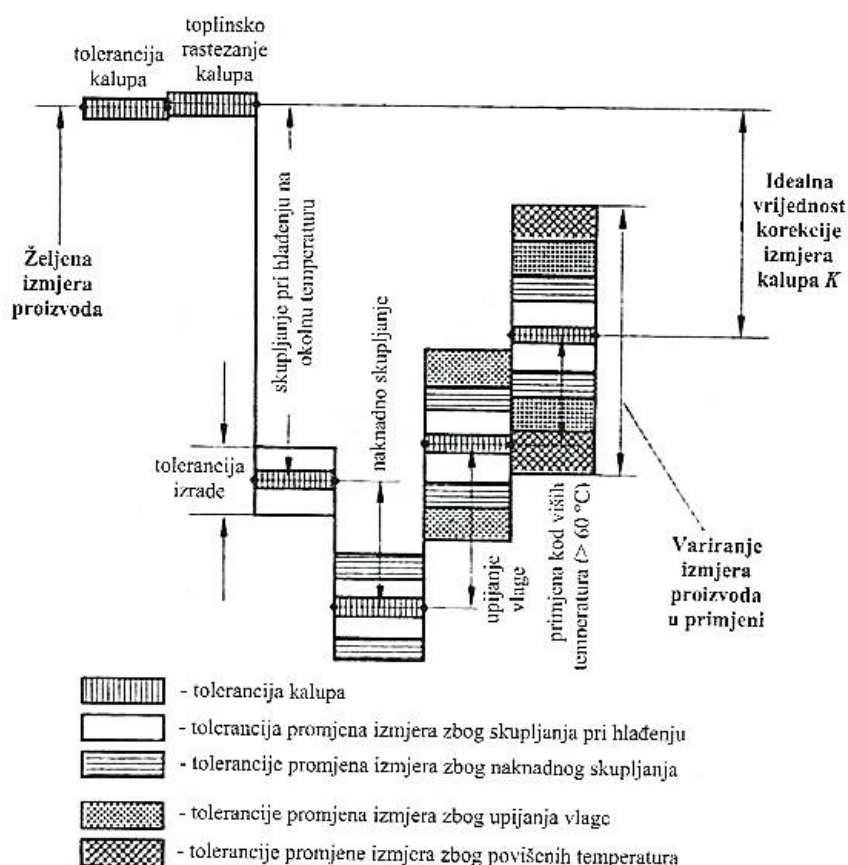
##### a) Izmjere i tolerancije

Toleriranje polimernih proizvoda i dopuštena odstupanja njihovih izmjera opisani su u normi DIN 16901 za različite vrste polimera. Vrijednosti odstupanja koje su ondje navedene za mnoge primjene su prevelike te ih treba primjenjivati s oprezom. Uz određene konstrukcijske mjere moguće je pri izradi postići i uže tolerancije, ali pritom ne treba pretjerivati jer nepotrebno uske tolerancije ne dovode do povećanja kvalitete proizvoda već samo do povećanja postotka škarta.

Polimerni materijali podložni su izrazitim promjenama izmjera. Na izmjere i stabilnost polimernog proizvoda utječu stezanje (odnosno skupljanje) tijekom hlađenja taljevine, stezanje tijekom hlađenja nakon izbacivanja iz kalupa i naknadno stezanje, kao i rastezanje zbog upijanja vlage i povišenih temperatura. Naknadno stezanje može se javiti nakon ohlađivanja na okolnu

temperaturu, osobito kod kristalastih plastomera. Naknadno je stezanje neznatno kod temperatura kalupa viših od 90 °C i debljih stijenki. Na slici 5.43 shematski su prikazane promjene izmjera polimernog proizvoda s kojim treba računati prilikom definiranja izmjera i njihova toleriranja. Osim o materijalu i postupku izrade, točnost izmjera i tolerancija ovise i o nizu drugih utjecaja kao što su:

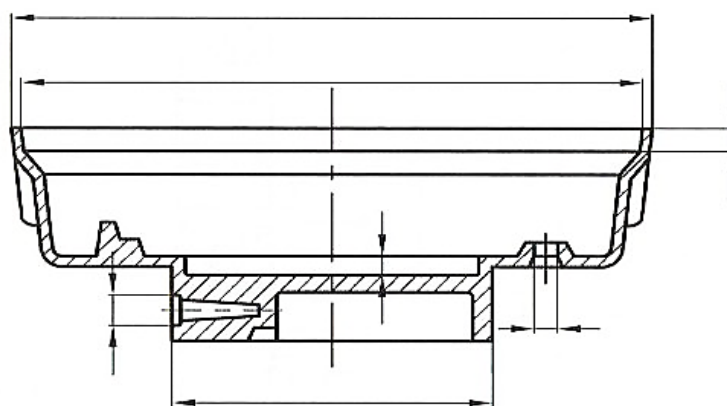
- različito pozicioniranje pomičnih dijelova kalupa,
- različita podešenost parametara injekcijskog prešanja,
- promjena izmjera kalupa zbog abrazijskog trošenja,
- razlike u materijalu (šarži),
- mjesto i način ubrizgavanja taljevine u kalupnu šupljinu i
- deformacije proizvoda prilikom uporabe.



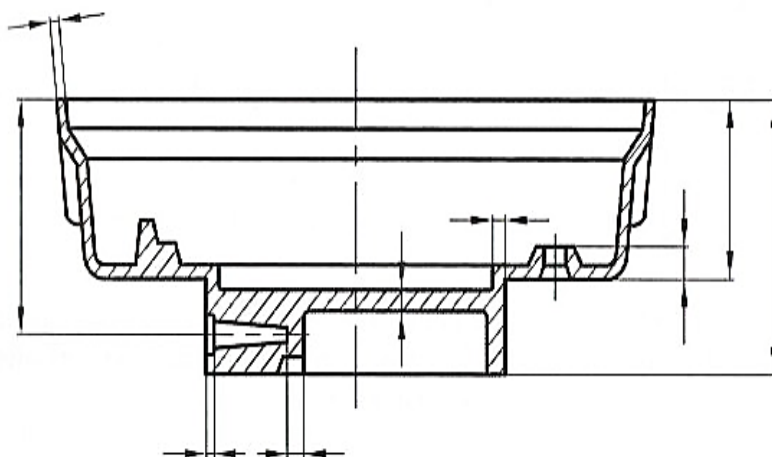
Slika 5.43. Shematski prikaz utjecaja na izmjere i tolerancije polimernog proizvoda pri injekcijskom prešanju; da bi se dobila željena izmjera proizvoda, kalup treba povećati za iznos  $K[10]$

Pri injekcijskom prešanju polimera (posebno onih kristalaste strukture) nemoguće je postići ISO stupnjeve temeljnih tolerancija IT5, IT6 i IT7 (raniji nazivi bili su „kvaliteta“ i „red“ tolerancije). Bez posebnih poteškoća moguće je postići stupanj temeljne tolerancije IT10. Stupanj IT9 dohvatljiv je uz povišene troškove pripreme i izrade, a stupanje IT8 tek uz visoke troškove i primjenu vrlo dobrih tehničkih sredstava. Imajući na umu konstrukciju kalupa i proizvoda, izmjere i tolerancije proizvoda moguće je podijeliti u dvije skupine:

- izmjere određene izmjerama dijelova kalupa (slika 5.44) i
- izmjere određene i izmjerama i položajem dijelova kalupa (slika 5.45.)

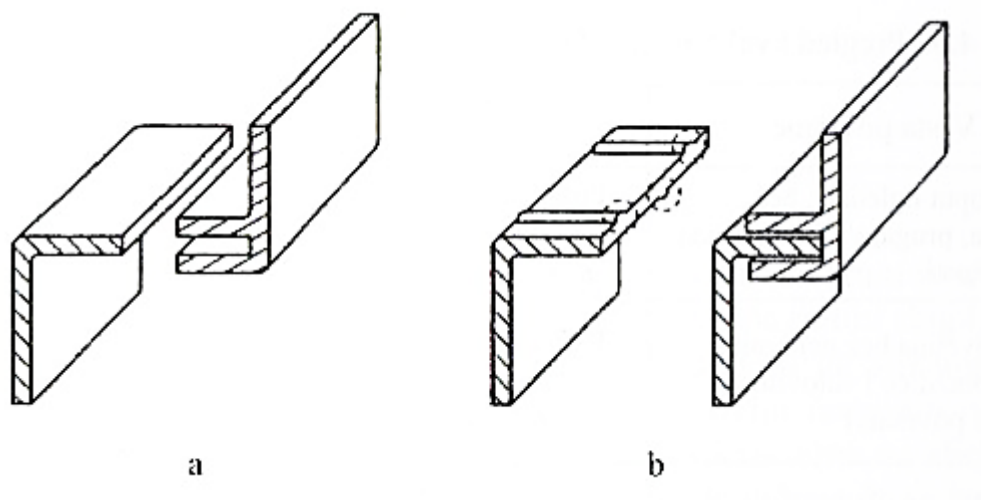


Slika 5.44. Primjer proizvoda i njegovih izmjera koje su određene izmjerama kalupa[10]



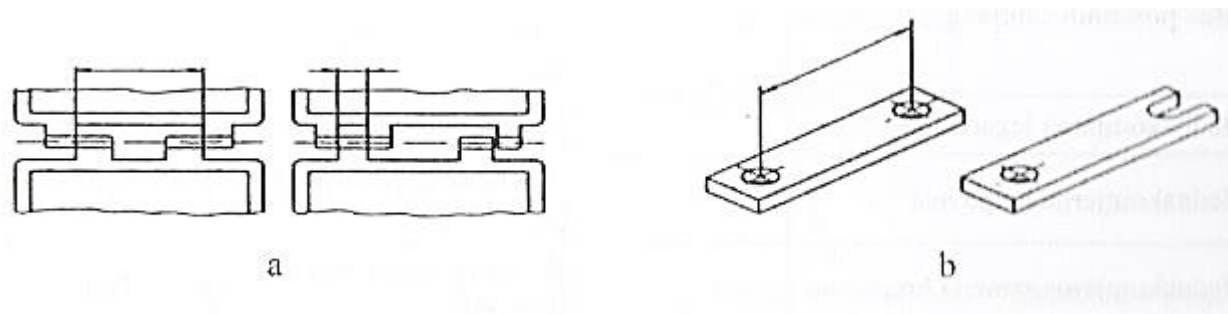
Slika 5.45. Primjer proizvoda i njegovih izmjera koje su određene i izmjerama i položajem dijelova kalupa[10]

Preporučuje se dijelove proizvoda s usko toleriranim izmjerama svakako izraditi samo s jednim dijelom kalupa – primjerice jednom njegovom polovicom. Na taj način izmjere proizvoda u osnovi ovise samo o izmjerama kalupa. Izmjere dijelova proizvoda koji se oblikuju pomoću više pomičnih dijelova kalupa poželjno je šire tolerirati. Primjer su stijenke, podne stijenke te dijelovi koje oblikuju pomične jezgre i umeci. Šire tolerancije potrebne su zato što osim o izmjerama kalupa, izmjere tih elemenata ovise i položaju pomičnih dijelova koji pri svakom zatvaranju kalupa može biti nešto drugačiji. Kako bi se izrada pojednostavnila i učinila jeftinijom, uske tolerancije treba izbjegavati. Stezne spojeve s pomoću velikih, usko toleriranih površina moguće je ostvariti jednako uspješno i preko nekoliko manjih površina. Elastična svojstva polimera omogućavaju uspješnu montažu i funkciju i takvih rješenja i kod velikih preklopa jer su oni koncentrirani na male površine (slika 5.46). [10]



Slika 5.46. Stezni spoj: a) Nepovoljna izvedba s velikim usko toleriranim površinama; b) Povoljna izvedba s nekoliko manjih dodirnih površina [10]

Tolerancije je poželjno svesti na što manje izmjere koje su stabilnije i manje podložne promjenama (slika 5.47a) ili ih potpuno izbjeći (slika 5.47b).



Slika 5.47. a) Zamjena većih toleriranih izmjera manjima kod elastičnih šarki; b) Eliminiranje tolerancija kod razmaka provrta [10]

#### b) Kvaliteta površine

Kod postavljanja zahtjeva na kvalitetu površine također se treba držati pravila broj 8: *Točno i kvalitetno samo koliko je potrebno, a ne koliko je moguće*. Kvalitetno obrađene površine su skuplje, a kod izrade i kasnije kod primjene i osjetljivije u podložnije oštećenjima. Stoga ih, bez stvarne potrebe, nije poželjno propisivati.

U tablici 5.1. navedene su kvalitete površina i primjeri njihove primjene kod polimernih proizvoda te je dana usporedba relativnih troškova njihova postizanja tijekom izrade. Primjetno je da su troškovi jednakomjerno hrapavih i visokokvalitetnih glatkih površina podjednaki.



Tablica 5.1. Pregled kvaliteta obrade površina polimernih proizvoda[10]

Vrsta površine	Primjer označavanja	Primjer primjene	Relativni trošak (%)
Glatka poput ogledala, bez neravnina, pruga, vidljivih brazdi ili valovitosti	Polirano do visokog sjaja $R_t = 1 \mu\text{m}$	Prozirne površine	100
Sjajna površina bez neravnina, vidljive brazdice i valovitosti (matirane površine)	Polirano do sjaja $R_t = 6.3 \mu\text{m}$	Površine s visokim zahtjevima na izgled, primjenjivo i za klizne površine	85
Glatka, bez opipljivih neravnina	Polirano $R_t = 10 \mu\text{m}$	Vidljive unutarnje površine proizvoda	60
Matirane površine, lagano opipljiva hrapavost	$R_t = 16 \mu\text{m}$	Površine koje se naknadno ne poliraju, ne smiju imati utjecaj na vađenje iz kalupa	40
Bez posebnih zahtjeva		Površine bez posebne funkcije, ne smiju imati utjecaj na vađenje iz kalupa	30
Jednakomjerna lagana hrapavost		Nereflektirajuće površine	90
Jednakomjerna hrapavost		Površine nekih elemenata za rukovanje	95
Jednakomjerna izrazita hrapavost		Površine elemenata za hvatanje	100

#### 5.2.3.8. Povoljnije oblikovanje proizvoda

**Pravilo 9.:** Treba iskoristiti i primijeniti mogućnost raznovrsnog oblikovanja proizvoda za istu funkciju

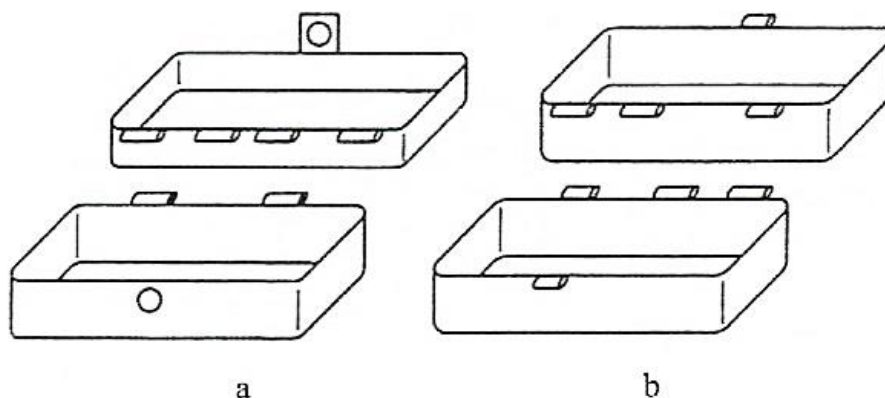
Prilikom oblikovanja proizvoda treba nastojati da funkcija proizvoda bude ispunjena, a da proizvod pritom bude što povoljniji. Ovisno o kriteriju, pojam povoljniji može značiti jednostavniji za izradu, jeftiniji za izradu i jednostavniji za montažu. Polimeri te postupci njihove prerade i

obrade nude velike mogućnosti promjene oblika proizvoda uz zadržavanje njihove osnovne funkcionalnosti. Primjena sljedećih jednostavnih smjernica omogućuje znatne uštede pri izradi:

- korištenje identičnih dijelova proizvoda
- davanje prednosti rotacijskim oblicima i
- integracija više funkcija u jednome proizvodu

#### a) Identični dijelovi proizvoda

Oblikovanjem i primjenom identičnih dijelova proizvoda ostvaruju se uštede na kalupima za njihovo oblikovanje. Pojedinačno, dijelovi mogu biti skuplji, ali su ukupno gledano troškovi niži. Primjeri za to prikazani su na slikama 5.48 i 5.42. Plastični kovčežić na slici 5.48a izrađene je od dviju različitih polovica. Znatna ušteda postiže se malim izmjenama oblika prikazanim na slici 5.48b, jer ona omogućava da obje polovice kovčežića budu identične i da se izrađuju u istom kalupu.

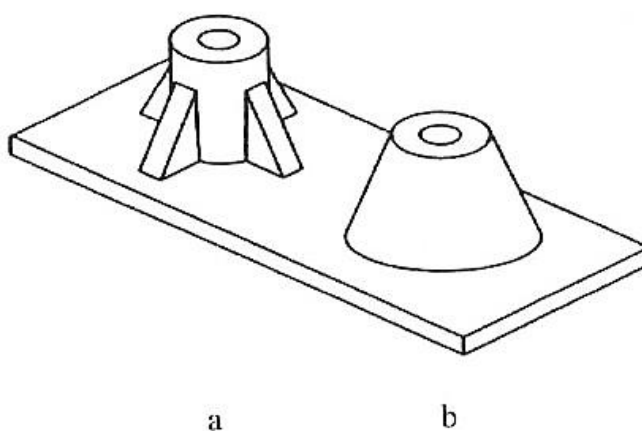


*Slika 5.48. Plastični kovčežić: a) Izvedba s dvije različite polovice; b) Izvedba s dvije identične polovice [10]*

Užnica na slici 5.42 umjesto od jednog dijela izrađena je od dviju jednostavnijih identičnih polovica. Dodatna operacija montaže izrazito je jednostavna i neznatno utječe na ukupne troškove.

### b) Prednost rotacijskim oblicima

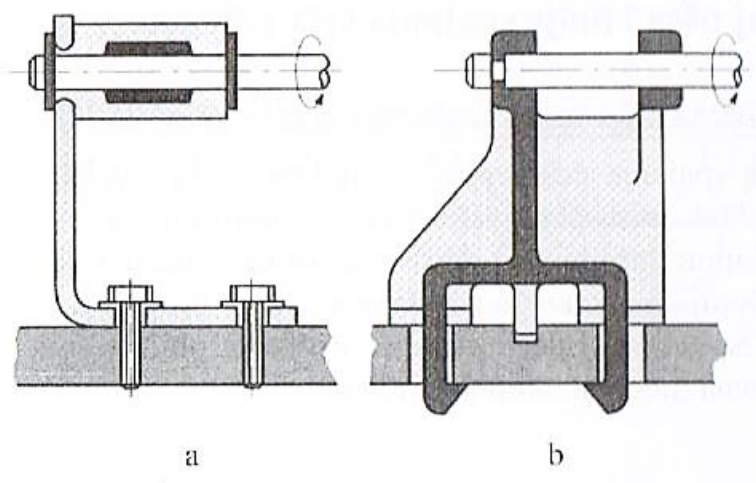
Komplicirane oblike dijelova proizvoda treba izbjegavati jer se sa složenošću oblika proizvoda znatno povećavaju i troškovi izrade kalupa. Primjenom rotacijskih oblika kod dijelova proizvoda moguće su uštede 50...80% u odnosu na prizmatične oblike tih dijelova. Uštede se pritom ostvaruju zahvaljujući manjem broju dijelova kalupa, kraćem vremenu izrade kalupa te manjim troškovima alatnih strojeva – npr. korištenjem tokarilice umjesto glodalice. Tako oblikovani dijelovi uz to često omogućuju i bolje hlađenje, a time i veću proizvodnost postupka i kvalitetu proizvoda. Primjer konstrukcijskog rješenja prikazan je na slici 5.49.



*Slika 5.49. Ušteda na troškovima alata: a) Oblik koji zahtjeva složenu konstrukciju kalupa zbog rebara; b) Rotacijski oblik koji omogućuje uštedu od 80% [10]*

### c) Integracija više funkcija u jednom proizvodu

Kod injekcijski prešanih polimernih proizvoda moguće je zahvaljujući velikim mogućnostima oblikovanja postići visok stupanj integracije raznih elemenata i funkcija. Elementi koji to omogućuju su, primjerice, raznovrsni uskočni spojevi, elastični zglobovi i razni metalni umeci. Time je moguće smanjiti broj pojedinačnih elemenata proizvoda, kao i pojednostavniti montažu konačnog proizvoda. Na slici 5.50a je prikazano klasično učvršćenje nosača podmazanog ležaja vratila pomoću vijaka. Vratilo je posebnim dijelovima osigurano protiv aksijalnog pomicanja. Na slici 5.50b prikazana je integralna multifunkcionalna izvedba nosača ležaja koja ujedinjuje sve spomenute funkcije. Elastičnost polimera omogućava učvršćenje pomoću uskočne veze pa su vijci nepotrebni, suvišno je i podmazivanje, kao i posebni dijelovi za aksijalno učvršćivanje.



Slika 5.50. Podmazani ležaj vratila s nosačem: a) Klasična izvedba; b) Multifunkcionalna integralna izvedba [10]

#### 5.2.3.9. Položaj ušća i linije spajanja čela taljevine

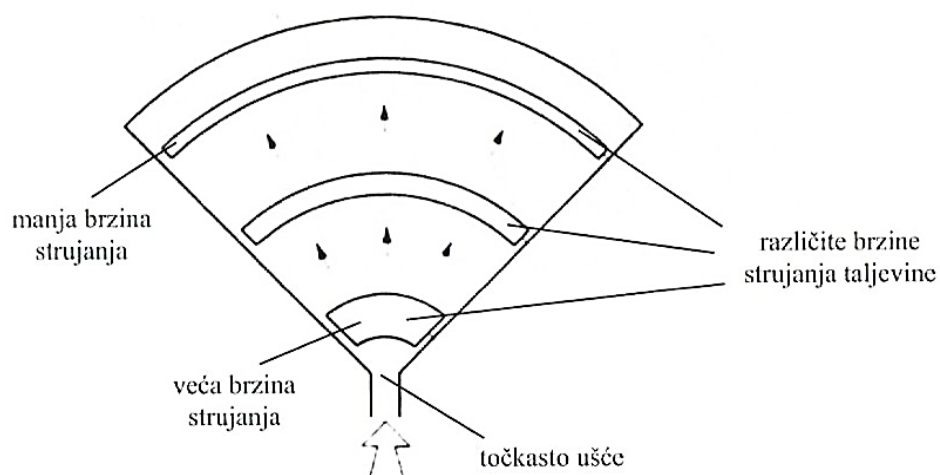
**Pravilo 10.:** Treba ispravno odabrati vrstu i položaj ušća ili više njih.

Nastanak linija spajanja čela taljevine, njihov oblik i veličina te utjecaj koji imaju na proizvod ovise ponajviše o vrsti i položaju ušća – mjesta ulijevanja taljevine u kalupnu šupljinu. O vrsti ušća ovisi i način na koji taljevina teče kroz kalupnu šupljinu. O vrsti ušća ovisi i način na koji taljevina teče kroz kalupnu šupljinu i kako je popunjava. Stoga broj ušća te njihov raspored treba pažljivo isplanirati te definirati već prilikom oblikovanja proizvoda jer o tome uvelike ovisi njegova ukupna kvaliteta.

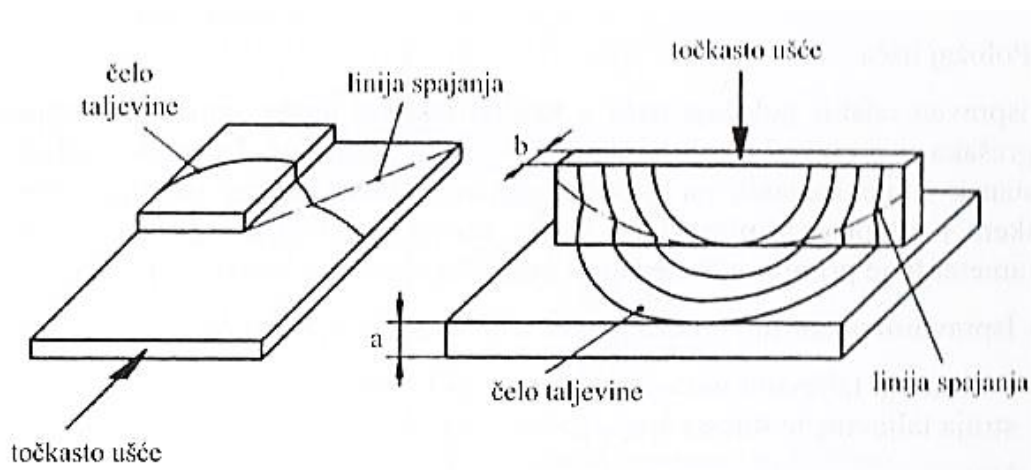
##### a) Vrsta ušća

Kroz točkasto ušće taljevina u kalupnu šupljinu ulazi praktički iz jedne točke (slika 5.51). Karakteristika točkastog ušća je da se oblik taljevine njezinim napredovanjem bitno mijenja kako je prikazano na slici 5.51. Te promjene oblika dovode do pojave orijentiranosti unutar materijala koje često ostaju i nakon skrućivanja i ohlađivanja taljevine što najčešće dovodi do različitog stezanja materijala pojedinih dijelova proizvoda i lokalno različitih mehaničkih svojstava.

Pored toga i geometrija proizvoda (suženja, prijelazi i slično) može uzrokovati različito napredovanje čela taljevine i njezino djelovanje u više struja – slika 5.52. Prije ili poslije ta se čela spajaju, a na linijama spajanja doalzi do mehaničkog oslabljenja proizvoda i nastanka vidljivih promjena izgleda njegove površine.

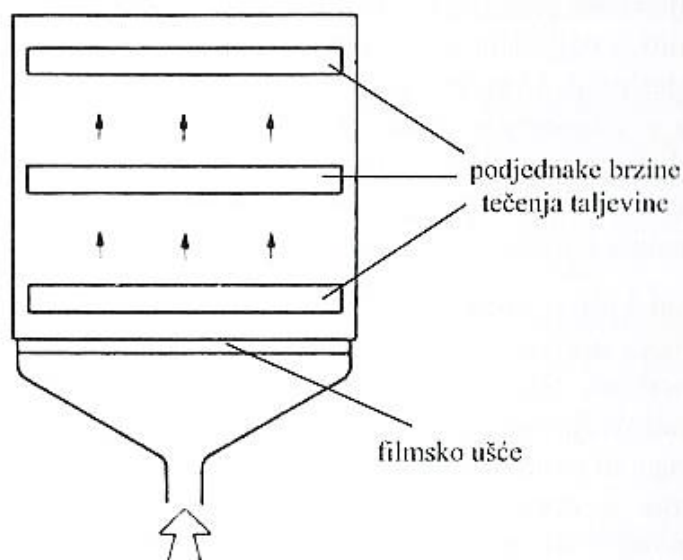


Slika 5.51. Tečenje polimerne taljevine nakon ubrizgavanja iz točkastog ušća [10]



Slika 5.52. Utjecaj geometrije proizvoda na tok čela taljevine i nastanak linija spajanja: u dijelovima proizvoda debljih stijenki ( $a > b$ ) polimerna taljevina brže teče [10]

Kod filmskog ušća taljevina u kalupnu šupljinu ulazi kroz duguljasti procjep. Promjene oblika poprečnog presjeka taljevine nema ili je ona vrlo mala (slika 5.53) pa su pojave orijentiranosti u materijalu i posljedične razlike u stezanju proizvoda male. Budući da je tečenje kroz kalupnu šupljinu jednoliko, opasnost od razdvajanja struje taljevine u više njih bitno je manja nego pri točkastom ušću. Nedostatak je filmskog ušća potreba za naknadnom obradom površine proizvoda na kojoj je materijal ubrizgavan kako bi se uklonili njegovi tragovi.

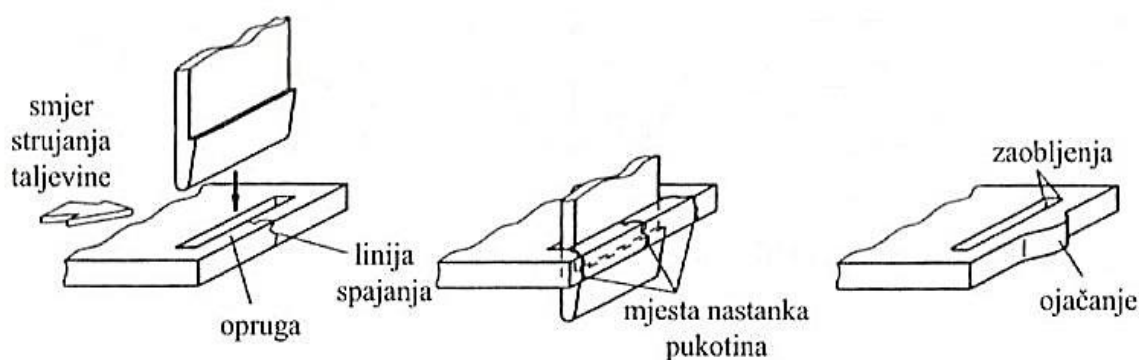


Slika 5.53. Tečenje polimerna taljevine iz filmskog ušća [10]

#### b) Položaj ušća

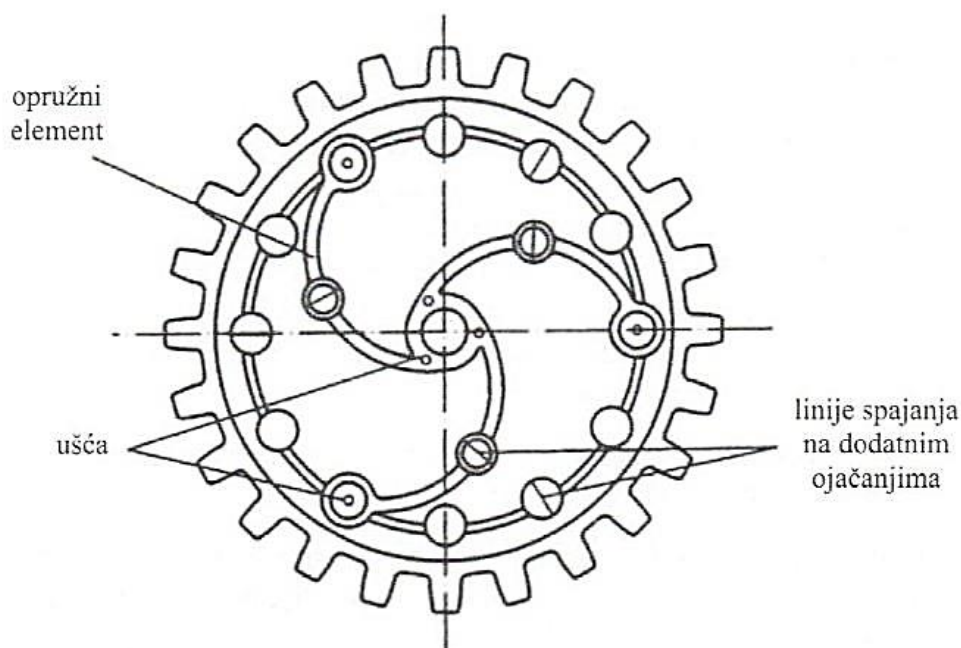
Neispravan odabir položaja ušća u kalupu također može uzrokovati nastanak pogrešaka u proizvodu koje umanjuju njegovu kvalitetu. Te greške uključuju nastanak spajanja na nepovoljnim mjestima, lokalne usahline, pojavu lunkera i vitoperenje proizvoda. Iz tog razloga je položaj i broj ušća važan parametar te pri njihovom odabiru poželjno je slijediti sljedeće smjernice:

- Ispravnim odabirom položaja ušća izbjeći dijeljenje struje taljevine.
- Polimernu taljevinu nastojati ubrizgavati na što manje mjesta kako bi broj struja taljevine te mjesta spajanja bio što manji.
- Ušće nastojati uvijek smjestiti u dijelove proizvoda gdje su debljine stijenki najveće. Time se postiže pravilnije tečenje taljevine, olakšava popunjavanje svih dijelova kalupne šupljine te u velikoj mjeri izbjegava nastanak šupljina i usahlina.
- Kod većeg broja ušća poželjno je njihov položaj i raspored odabrati tako da se postigne jednoliko popunjavanje kalupne šupljine.
- U nekim je slučajevima nastanak linija spajanja neizbježan. U tom slučaju potrebno je na mjestima njihova nastanka predvidjeti dodatno ojačanje proizvoda kako je prikazano na primjeru spoja s kvačicom (slika 5.54).



Slika 5.54. Pukotine se kod uskočnog spoja mogu pojaviti na mjestu linije spajanja ili na oštrim kutovima proreza. Zaobljavanjem kutova smanjuje se koncentracija naprezanja u materijalu, a time i opasnost od loma. Na mjestu linije spajanja izvedeno je ojačanje.[10]

Na primjeru polimernog zupčanika koji je elastično povezan s vrtilom (slika 5.55) primijenjena su gore navedena pravila za ispravno oblikovanje. Vijenac zupčanika je dio s najvećim debljinama stijenke, a ujedno iz konstrukcijskih razloga i najosjetljiviji. U njemu se ni u kojem slučaju ne smiju pojaviti pogreške poput šupljina i vitoperenja te se ušća moraju smjestiti na njega. Kako bi popunjavanje kalupne šupljine bilo jednoliko, odabrana su tri ušća – na spojevima opružnih elemenata i vijenca zupčanika.



Slika 5.55. Primjena pravila za ispravno oblikovanje s obzirom na linije spajanja na polimernom zupčaniku [10]

#### 5.2.3.10. Metalni umeci

##### **Pravilo 11.: Treba ispravno oblikovati i izvoditi spoj metalnih i polimernih elemenata**

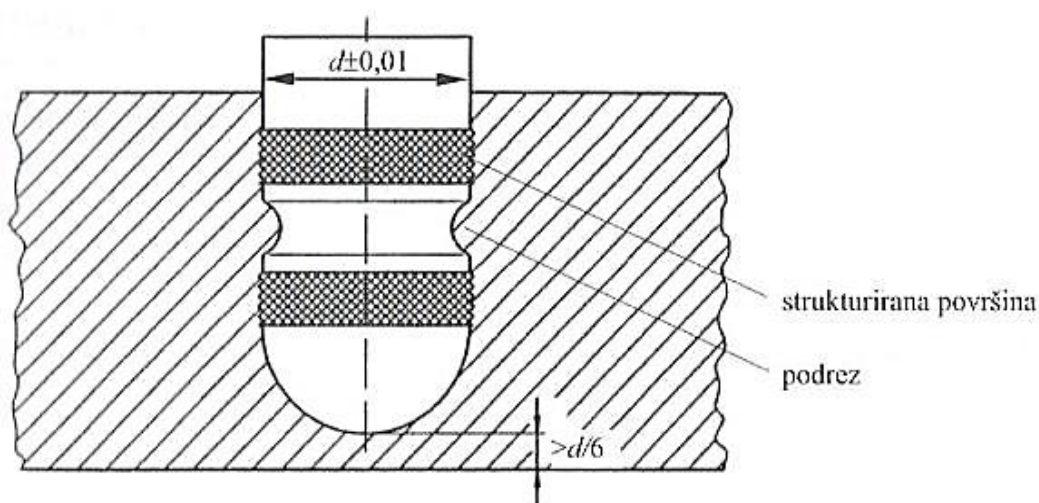
Potreba za čvrstim povezivanjem dvaju ili više različitih elemenata vrlo je čest razlog za spajanje metalnih i polimernih elemenata. Specifična svojstva i prednosti pojedinog materijala (metala ili polimera) na nekim su proizvodima potrebni samo lokalno pa je poželjno da su samo ti dijelovi izrađeni od drugog materijala. Za ostvarivanje takvih veza na raspolaganju su spajanje umecima – injekcijsko uprešavanje i spajanje oblaganjem – injekcijsko oprešavanje. [10]

Osim radi osiguranja funkcije, umeci mogu poslužiti kao ukras. Bez obzira na njihovu funkciju, umeci postavljaju određene i specifične zahtjeve u vezi s konstrukcijskim oblikovanjem polimernih otpresaka. Oblik umetka mora u prvome redu osigurati sigurno povezivanje s otpreskom radi izbjegavanja vrtnje ili izvlačenja umetka iz otpreska. Oštri rubovi umetka rezultiraju povišenom razinom koncentracije naprezanja, te ih treba izbjegavati. Izdanci umetka radi pouzdanog povezivanja s otpreskom moraju biti dovoljno duboko u materijalu otpreska, kako bi se osigurala potrebna glatkoća površine otpreska oko umetka. [1]



## a) Injekcijsko uprešavanje

Funkcije umetaka u proizvodu različite su. Mogu se upotrebljavati npr. kao elementi za povezivanje i prihvaćanje opterećenja, što se postiže smještanjem i učvršćivanjem različitih metalnih umetaka u polimer. Takve spojeve karakterizira velika čvrstoća i velike sile koje se mogu prenositi. Nedostaci su potreba za točnim pozicioniranjem metalnih elemenata u kalupnoj šupljini, produljenje proizvodnog ciklusa te povećana opasnost od loma i deformiranja polimernih proizvoda koji se spajaju s metalnim umecima. [10]

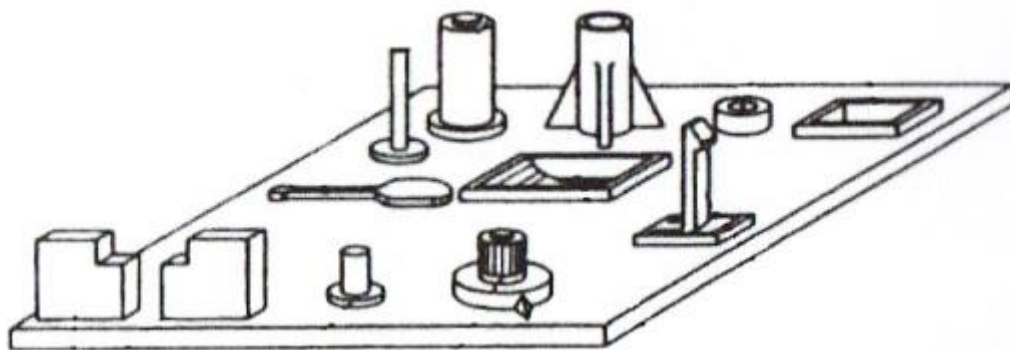


Slika 5.56. Preporuka za smještanje metalnog umetka u polimerni proizvod [10]

Slika 5.56 prikazuje kako se primjenom pravilno oblikovanih podreza može spriječiti pomicanje metalnih umetaka. Predviđeni prostor (koji treba iznositi barem  $d/6$  – slika 5.56) potreban je kako taljevina mogla nesmetano teći te da se izbjegnu usahline zbog intenzivnijeg hlađenja kojeg uzrokuje metalni umetak.

## b) Injekcijsko oprešavanje

Smještanje i učvršćivanje polimernih umetaka na nosivi metalni element (najčešće lim), naziva se injekcijsko oprešavanje. Polimerni se elementi (slika 5.57) prilikom hlađenja i skrućivanja polimerne taljevine stežu i čvrsto obuhvaćaju metalnu osnovu čime dolazi do njihova učvršćivanja. Prednost primjene tog postupaka je jeftiniji konačni proizvod i skraćenje trajanja proizvodnog ciklusa.



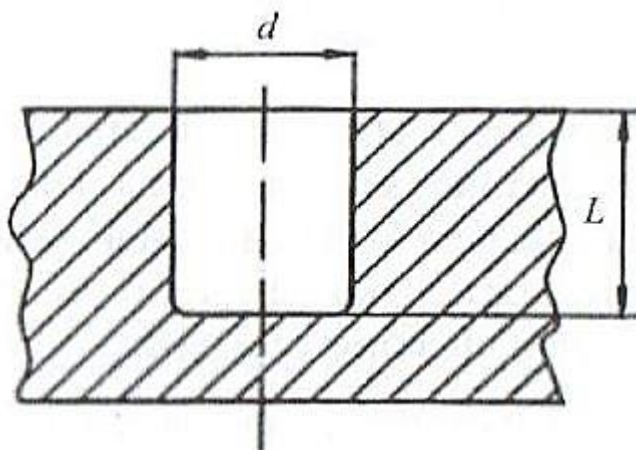
Slika 5.57. Razni polimerni elementi na limu izrađeni injekcijskim oprešavanjem [10]

#### 5.2.3.11. Provrti, otvori i slijepe rupe

**Pravilo 12.:** *Provrti, otvore i slijepe rupe treba oblikovati poštujući posebnosti polimera.*

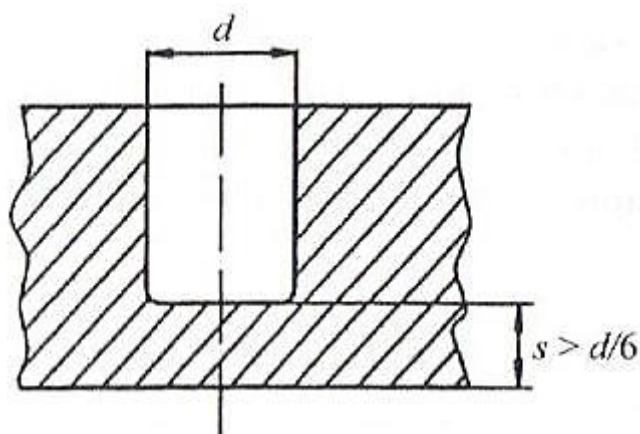
Provrti (cilindrične prolazne rupe), otvori (necilindrične prolazne rupe) i slijepe (neprolazne) rupe u polimernim se elementima mogu oblikovati pomoću umetaka i izmjera koji se smještaju u kalupnu šuplinu. To je jeftiniji način oblikovanja provrta, rupa i otvora od onog koji se postiže bušenjem gotovog polimernog proizvoda.

Provrti se oblikuju umecima koji su u kalupu najčešće obostrano učvršćeni. Za njih je najmanji preporučeni promjer  $d = 1 \text{ mm}$ . Ako su provrti većih duljina, tada taj promjer ne smije biti manji od  $3 \text{ mm}$ . Zbog sprečavanja pregrijavanja umetaka premale debljine i njihovo prekomjerno deformiranje tijekom popunjavanja kalupne šupljine, potrebno je ostvariti  $L \leq 15d$ , gdje je  $L$  duljina umetka u kalupu, a  $d$  debljina, odnosno promjer umetka. Preporučuje se ipak da bude  $L \leq 5d$ . Slijepe rupe oblikuju se pomoću jezgri i umetaka koji su u kalupu jednostrano učvršćeni. Opasnost od deformiranja pri tečenju taljevine u tom je slučaju znatno veća nego kod obostrano učvršćenih umetaka. Stoga je preporuka za najveću dubinu slijepe rupe:  $L \leq 2d$ , gdje je  $L$  duljina umetka u kalupu, a  $d$  promjer rupe (slika 5.58).



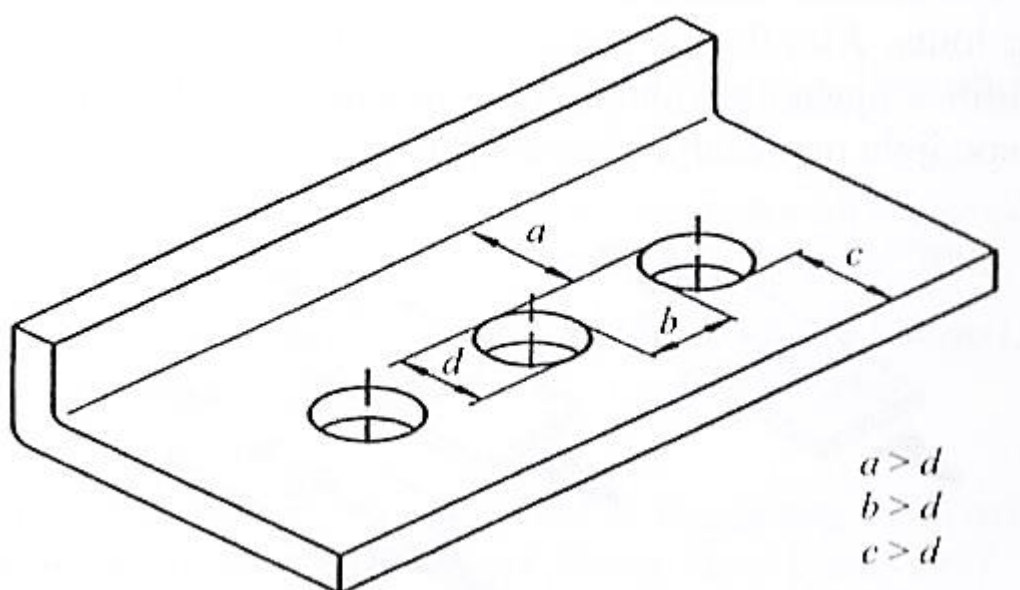
Slika 5.58. Veličine slijepe rupe u polimernom proizvodu [10]

Premala debljina materijala ispod slijepe rupe može uzrokovati pojavu izbočenja na površini proizvoda, ta pojava može se spriječiti ako je debljina materijala ispod slijepe rupe  $s \geq d/6$ .



Slika 5.59. Preporuka za debljinu polimernog proizvoda ispod slijepe rupe [10]

Pravilan raspored i smještaj provrta također ima veliku važnost za konstruiranje polimernih proizvoda. Na taj se način može izbjeći nastanak pukotina, nepovoljnih linija spajanja te prekomjernih zaostalih naprezanja (slika 5.60).



Slika 5.60. Preporuke za raspored provrta na polimernom proizvodu [10]

#### 5.2.4. Odabir materijala

Pri projektiranju i konstruiranju proizvoda više od 70 % utjecaja propisuje se troškovima materijala. Zato je potrebno da inženjeri koji rade u konstrukcijskim odjelima raspolažu odgovarajućim znanjima o tehničkim materijalima. Ta znanja ne bi trebala biti samo mehanička, tehnološka, kemijska svojstva, već bi trebala obuhvatiti ekonomska gledišta kao što su cijene, troškovi obrade, mogućnost nabave. Izbor materijala predstavlja pri svakom konstruktivnom zadatku tehničko ekonomski problem. Sadržaj tog problema određen je nizom zahtjeva koji se superponiraju. Utjecajni faktori mogu se grupirati u četiri grupe:

- Zahtjevi vezani za upotrebu konstrukcije.
- Zahtjevi vezani za oblikovanje.
- Zahtjevi vezani za izradu i obradu.
- Ekonomski zahtjevi.

Primjenom matematičkih metoda omogućava se izbor optimalnog materijala za specifične uvjete opterećenja. Odgovarajućim katalozima materijala, tablicama odluke i karakteristikama ekonomičnosti, moguće je vršiti izbor. Izbor materijala ima odlučujući utjecaj na:

- dimenzije izratka,
- oblik i tehnologiju dobivanja oblika,

- obradivost i kvalitetu površinske obrade,
- način povezivanja,
- vijek trajanja, uvjetovan trenjem, trošenjem i otpornošću na koroziju.

Prema tome, odabrani materijal, osim troškova nabave utječe i na troškove izrade i zaštite. Smanjenje utroška materijala i izbor najbolje odgovarajućeg materijala, predstavljaju značajne korake za postizanje tehničko – ekonomsko optimalnog proizvoda. [4]

Prilikom odabira materijala potrebno je uskladiti svojstva koja materijali posjeduju s konstrukcijskim zahtjevima i vanjskim uvjetima, te ostvarenju ekonomske opravdanosti odabira. Najprije je potrebno definirati svojstva koja su ključna za funkciju konstrukcijskog elementa. Rijetko se radi o jednom svojstvu koje materijal mora imati, i koje ima veći broj materijala. Ključni dio izbora materijala očituje se u odbacivanju onih koji ne zadovoljavaju ni one osnovne zahtjeve koje im postavlja funkcija proizvoda. Važno je napomenuti da je razvoj i proizvodnja polimera izrazito dinamična i da se novi materijali pojavljuju velikom brzinom, a postojeći se materijali poboljšavaju raznim dodacima koji im mogu bitno promijeniti svojstva. Jedan od osnovnih uvjeta za pravilno konstruiranje elemenata od polimernih materijala je dobro poznavanje materijala u očekivanim uvjetima promjene [11]. Najbolji izvori takvih podataka su:

- a) Komercijalne baze podataka svojstava polimera, npr.:
  - CAPS, Polydata, Irska
  - POLYMAT PC, DKI Darmstadt, Njemačka
  - POLSELEC, Hanser – Verlag, Njemačka
  - KAI, WEKA- Verlag, Njemačka
- b) Katalozi i kataloški sustavi proizvođača i dobavljača polimera, npr.:
  - CAMPUS, skupina proizvođača polimera
  - FUNDUS, proizvođač polimera
  - CheckSpec, DOW
  - EPOS, ICI
  - EREMIS, Du Pont
  - CISAR, AMOCO [11]

### 5.3. Završne aktivnosti konstruiranja

Završne aktivnosti konstruiranja otpreska shematski su predložene slikom 5.61.



Slika 5.61. Završne aktivnosti konstruiranja otpreska[1]

Nužno je pri razvoju otpreska predvidjeti njegovu trajnost, te analizirati da li predviđena trajnost zadovoljava predviđenu uporabu otpreska. Proučavanje pouzdanosti temelji se na analizi prošlih događaja, na temelju kojih treba predvidjeti buduće.

Rad konstruktora otpreska treba konačno biti crtež otpreska popraćen listom otpreska, obrascem koji sadrži sve potrebne podatke za ispravno projektiranje kalupa.

Lista otpresaka je obrazac koji sadrži opće podatke o otpresku, odabranom polimernom materijalu, izmjerama otpreska, svojstvima otpreska, uvjetima njegove uporabe, pripremi za injekcijsko prešanje, te naknadnoj i završnoj obradi otpreska.[1]

## **6. PRAKTIČNI DIO**

### **6.1. Uvod**

U teoretskom dijelu rada opisano je kako razvoj novog proizvoda počinje fazom istraživanja i planiranja razvoja. U toj fazi se na temelju zahtjeva kupaca, analize tržišta ili nekih drugih kriterija utvrđuje potreba za proizvodnjom određenog proizvoda. Dokazano je kako su upravo u fazi razvoja proizvoda, greške koje nastaju na proizvodu najčešće, ali je u toj fazi i njihovo uklanjanje i najjeftinije, te je potrebno obratiti veliku pozornost na pravilan razvoj proizvoda.

Središnju fazu konstruiranja obilježava povezanost triju aktivnosti: oblikovanja, dimenzioniranja te izbora materijala. U toj fazi nezaobilazna je pomoć računala, pomoću koje je znatno ubrzan rad konstruktora. Omogućene su razne simulacije pomoću kojih se može predvidjeti vrijeme i način popunjavanja kalupne šupljine, koncentracije naprezanja čime se znatno pridonosi brzini i kvaliteti konstruiranja proizvoda.

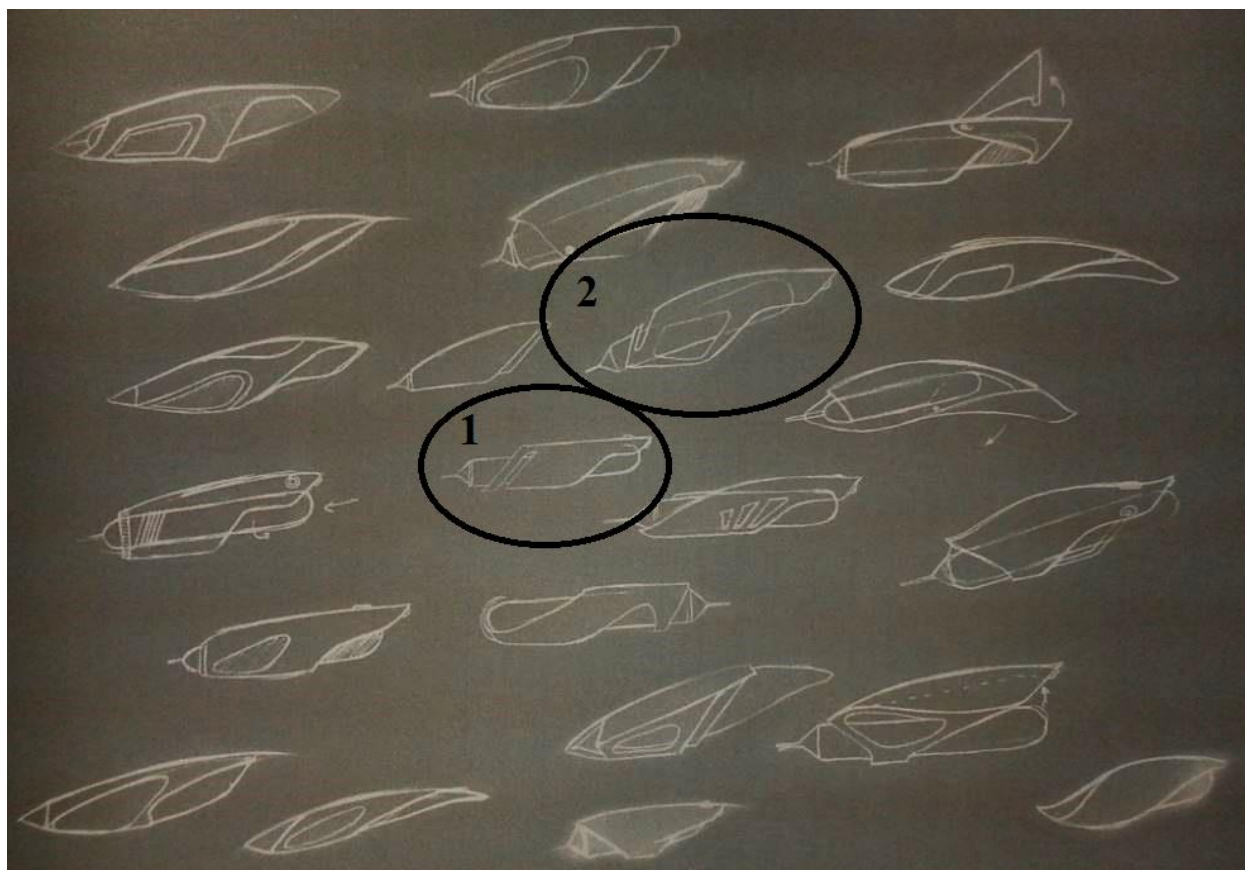
U završnoj fazi potrebno je analizirati trajnost i pouzdanost otpreska., što se čini analizom prošlih događaja, na temelju kojih treba predvidjeti buduće. Analizom pouzdanosti mogu se predvidjeti troškovi koji se sastoje od troškova konstruiranja i proizvodnje, te pogonskih troškova, troškova održavanja i troškova popravaka. [1]

U praktičnom dijelu rada potrebno je razviti kućište kartuše posebnog ljepila koje će se izrađivati postupkom injekcijskog prešanja. Temeljem zahtjeva koji su prikupljeni od dizajnera, razvijene su dvije vrste kućišta, tada je na temelju zahtjeva proizvođača bilo potrebno omogućiti prihvrat lampice za UV svjetlo, te je jedno od ideje dizajnera odbijeno. Nakon toga je provedeno daljnje oblikovanje otpreska, te izbor materijala. Provjera tehničnosti otpreska izvedena je uz pomoć računalnog programa Moldflow, čime su omogućene simulacije vremena punjenja kalupne šupljine, predviđena kvaliteta otpreska, kvaliteta ispunjenja kalupne šupljine, te pad tlaka prilikom punjenja kalupne šupljine.



## 6.2. Analiza zahtjeva na kućište kartuše

Proces tehnologijskog konstruiranja započinje analizom zahtjeva koje kućište kartuše mora zadovoljavati. Najvažniji zahtjevi su funkcionalnost, proizvodljivost, ergonomija i estetika. Od tima dizajnera dani su poželjni oblici proizvoda koji bi zadovoljili ergonomske i estetske zahtjeve kupaca (slika 6.1). Od strane konstruktora, bitno je da se otpresak konstruira tako da bude funkcionalan i proizvodiv uz što niže troškove.



Slika 6.1. Tipovi dizajna kućišta

## 6.3. Izbor materijala

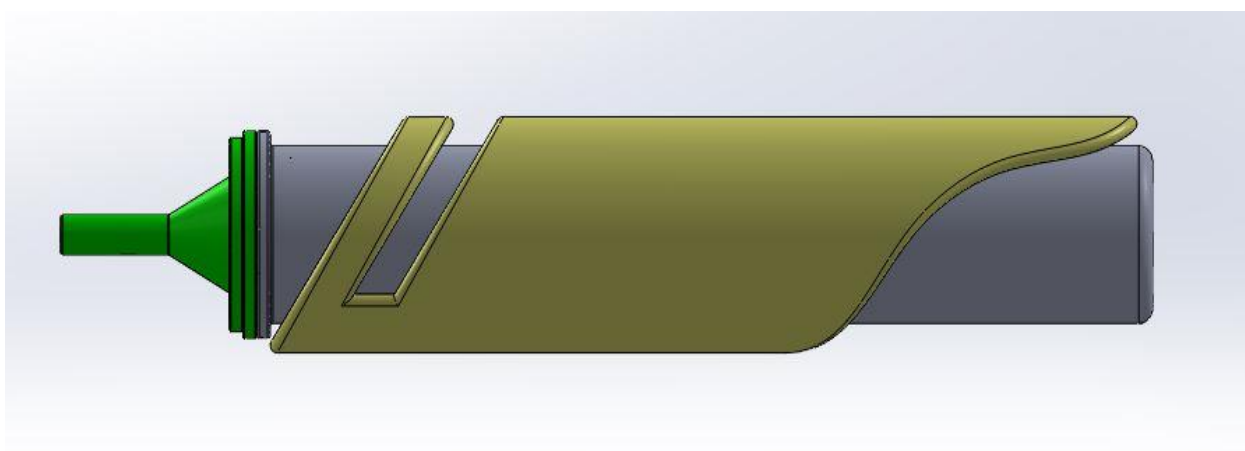
Kao materijal otpreska izabran je polimer ABS (akrilonitril/butadien/stiren) zbog svojih mehaničkih svojstava i dostupnosti na tržištu. To je polimer sastavljen od tri različita monomera: akrilonitrila, koji mu daje kemijsku otpornost, butadiena, koji mu daje otpornost na udar i stirena, koji mu daje čvrstoću, krutost i laku obradivost [12]. Najvažnija svojstva tog materijala su: znatna čvrstoća, tvrdoća i krutost, niska higroskopnost, dobra dimenzijska stabilnost, dobra postojanost



na abraziju, osjetljivost na UV- zrake. Primjena: razna kućišta (videooprema i audiooprema, telefoni ...), automobilski dijelovi, ručke razne pregrade [10].

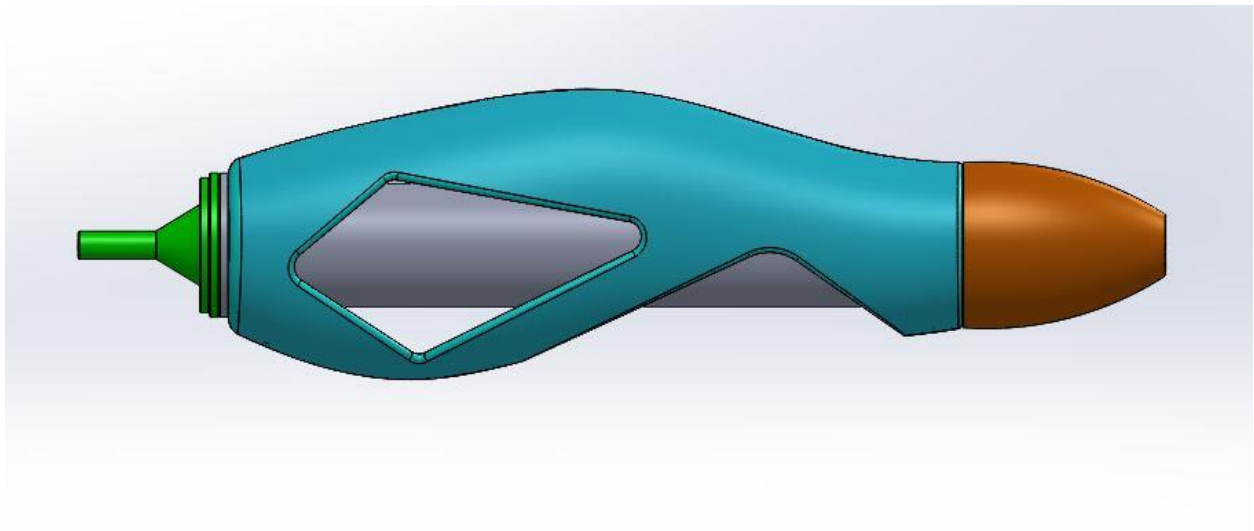
#### 6.4. Oblikovanje kućišta

Za oblikovanje kućišta korišten je CAD paket SolidWorks 2014. Paralelno su modelirana prema dizajnerskim skicama dva sklopa između kojih se trebalo odlučiti za boljeg i njega nastaviti razrađivati. Kod sklopa 1 (slika 6.2) koristi se kućište kartuše koje je na slici 6.1 označeno brojem 1, uočeni su nedostaci. Naime, prema zahtjevu proizvođača sklop mora imati mogućnost prihvata UV lampice, a pomoću kućišta kartuše koja se koristi kod sklopa 1, to nije bilo omogućeno.



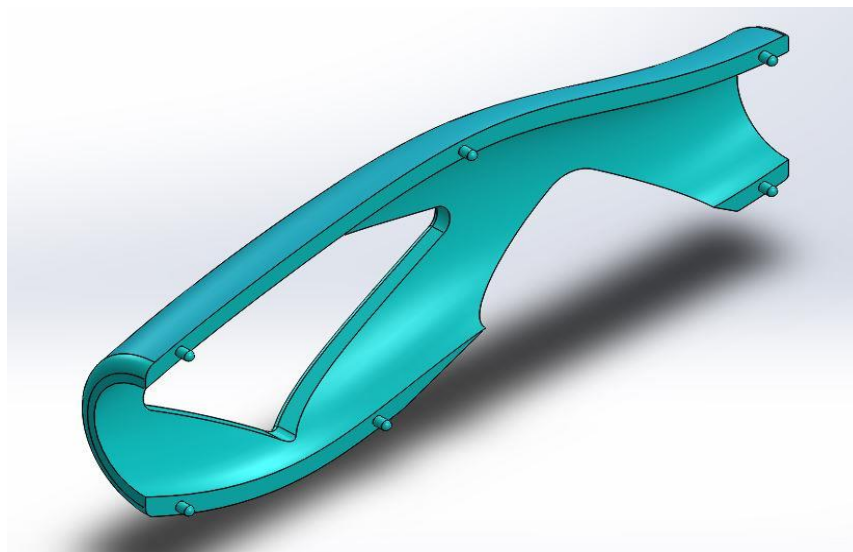
*Slika 6.2. Sklop 1*

Prema tome krenulo se u razradu sklopa koji koristi kućište kartuše koje je prema slici 6.1 označeno brojem 2. Takvo kućište uz određene izmjene za prihvata UV lampice, zadovoljava zahtjeve koje je nametnuo proizvođač, uz ostale zahtjeve koji su vezani uz dizajn, funkcionalnost, proizvodivost.

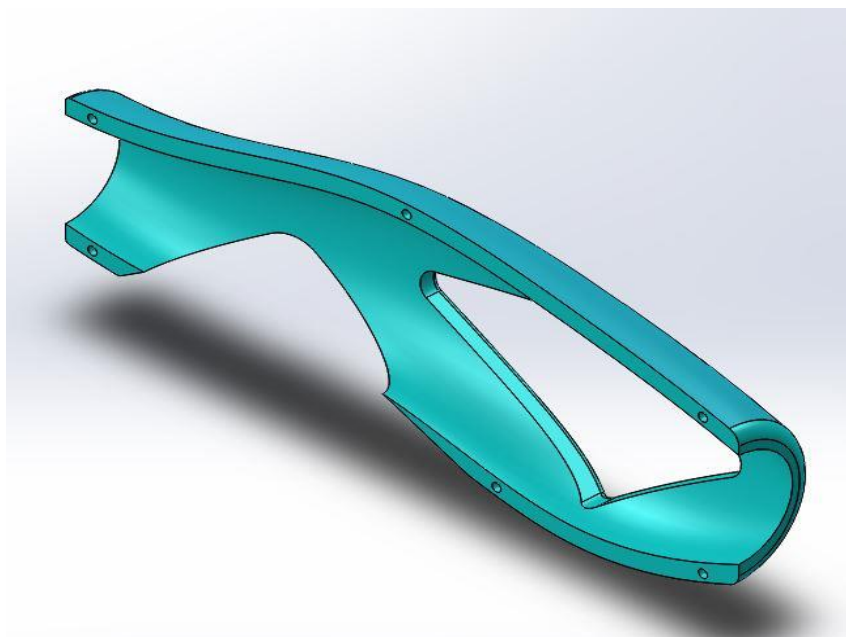


*Slika 6.3. Sklop 2*

Kućište se sastoji od dva dijela od kojih jedan ima 6 utora, a drugi 6 izdanaka. Oni se spajaju i još im se zbog dodatne sigurnosti od rastavljanja lijepe dodirne površine.



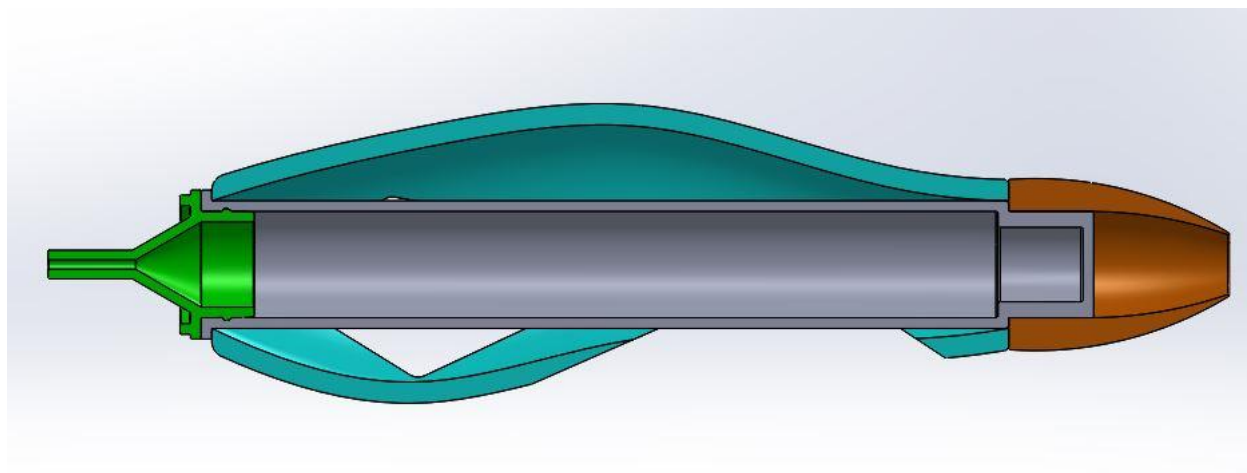
*Slika 6.4. Polovica kućišta s izdancima*



*Slika 6.5. Polovica kućišta s utorima*

Prilikom oblikovanja bilo je potrebno paziti da debljina stijenke bude što manja i ujednačena. Odabrana debljina stijenke je 2 mm, te je time omogućeno jednoliko punjenje kalupne šupljine, jednoliko stezanje otpreska, snižen udio napetosti, kraći ciklus preradbe, manja masa otpreska te smanjeni troškovi. Kod injekcijskog prešanja uobičajena je debljina stijenke od 1 mm do 3 mm. Debljine izvan tih granica je potrebno izbjegavati, jer postoji opasnost da zbog neravnomjernog hlađenja dođe do uvlačenja materijala odnosno do nastanka usahlina ili do stvaranja šupljina – lunkera u središnjim slojevima. Zbog smanjivanja koncentracija naprezanja, sprečavanja pukotina i opasnosti od loma vanjski bridovi izvedeni su sa zaobljenjem. Time će prilikom procesa injekcijskog prešanja biti omogućeno olakšano tečenje taljevine u kalupnoj šupljini, olakšano vađenje otpreska iz kalupne šupljine, smanjenje gomilanja masa u kutovima te poboljšano i ujednačeno hlađenje otpreska.

Što se tiče samog sklopa na slici 6.6 je prikazan presjek istog, te način spajanja komponenti.



*Slika 6.6. Presjek sklopa*

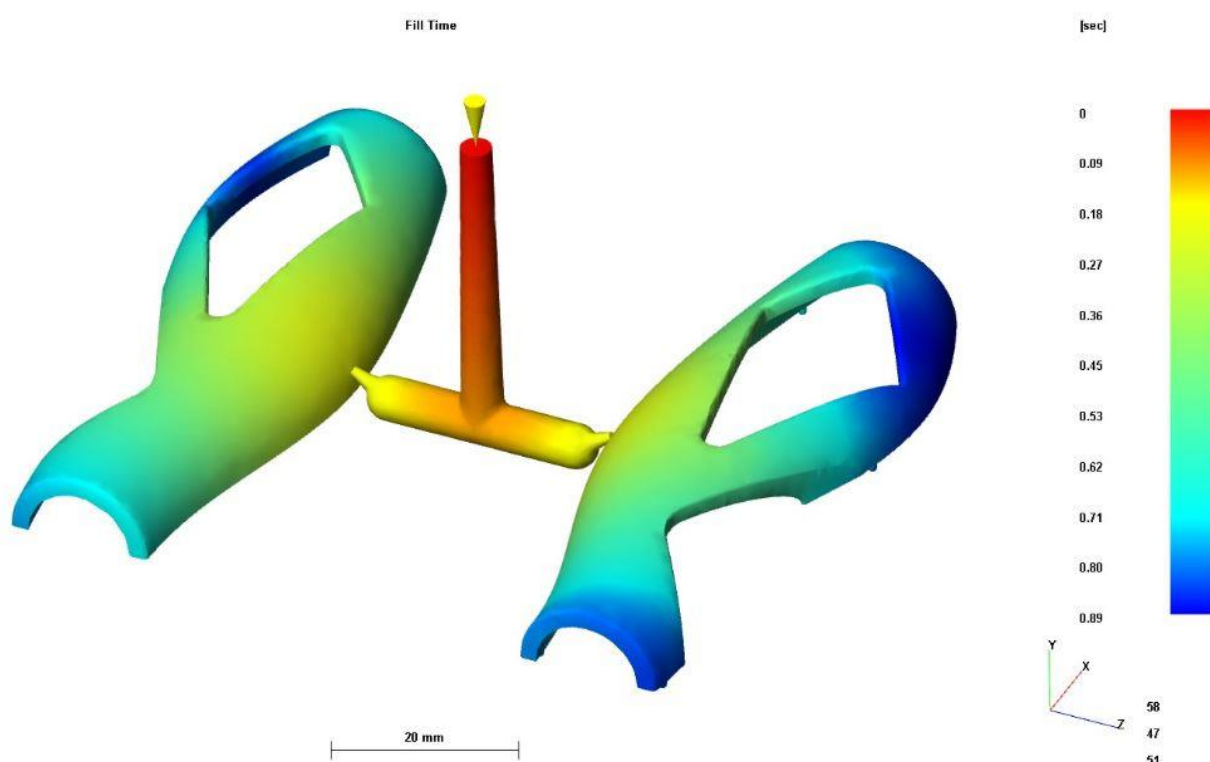
Nastavak koji služi za istiskivanje ljepila iz kartuše i označen je zelenom bojom, učvršćuje se oblikom na kartušu koja ima utor izveden za prihvata tog nastavka. Zbog dodatne sigurnosti dodirne površine kartuše i tog nastavka za istiskivanje ljepila biti će potrebno lijepiti. Materijal kartuše bio bi polietilen niske gustoće (PE – LD). Polietileni su postojani materijali koji se lako oblikuju, a od važnijih svojstva bitno je nabrojati: žilavost, savitljivost, prozirnost i podložnost oksidaciji. Primjenjuje se za razna pakiranja, vrećice, spremnike u prehrambenoj industriji, igračke, kućne potrepštine.

Kartuša na jednom kraju ima navoj pomoću kojeg se omogućuje prihvata nastavka u koji se smješta UV lampica. Pritezanjem tog nastavka koji je na slici označen smeđom bojom ujedno onemogućujemo ispadanje kartuše iz kućišta.

### 6.5. Provjera tehničnosti otpreska i simulacije

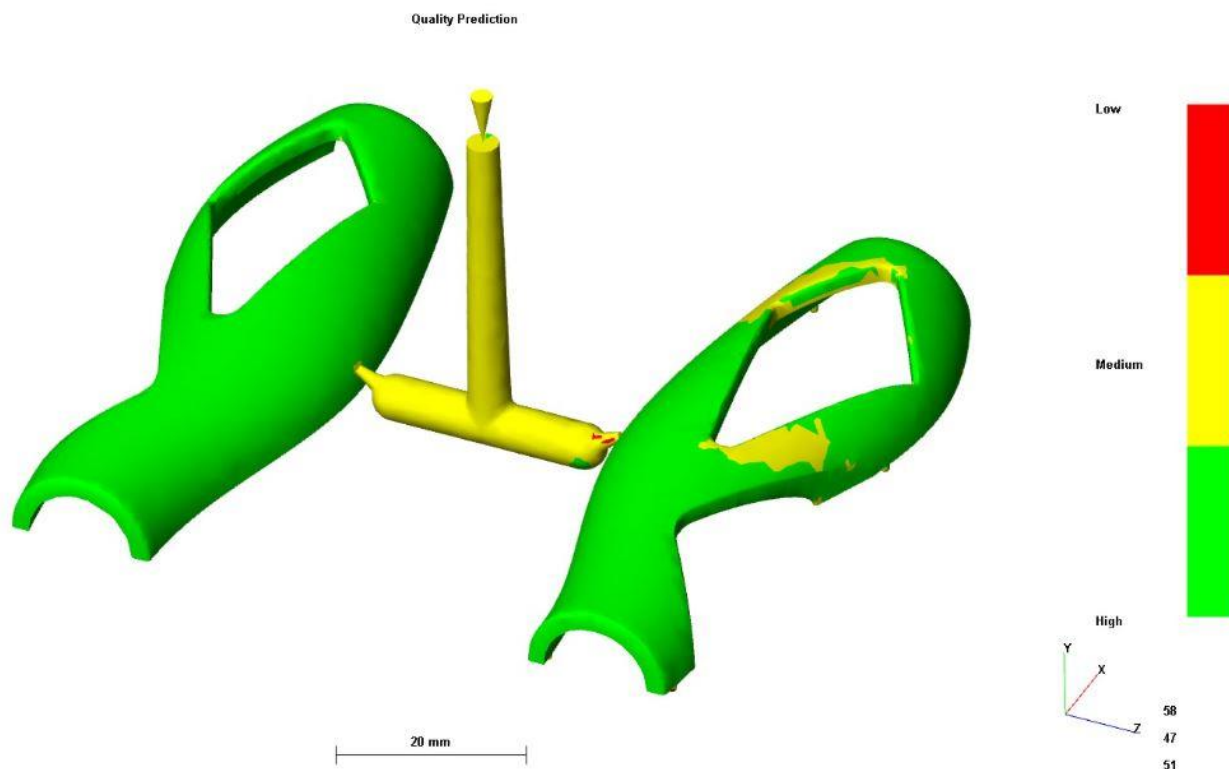
Dio aktivnosti pri razvoju otpresaka koje izravno povezuju rad na konstruiranju otpreska i odgovarajućeg kalupa čini provjera tehničnosti otpreska. Ona uključuje provjeru funkcionalnosti i proizvodljivosti otpreska. Kod provjere funkcionalnosti koriste se eksperimentalne metode za određivanje naprezanja i deformacija u konstrukcijama, dok se za kvalitetnu proizvodljivost provjerava kalupljivost, preoblikovljivost, obradljivost, povezljivost i oplemenljivost.[1]

#### Vrijeme punjenja kalupne šupljine



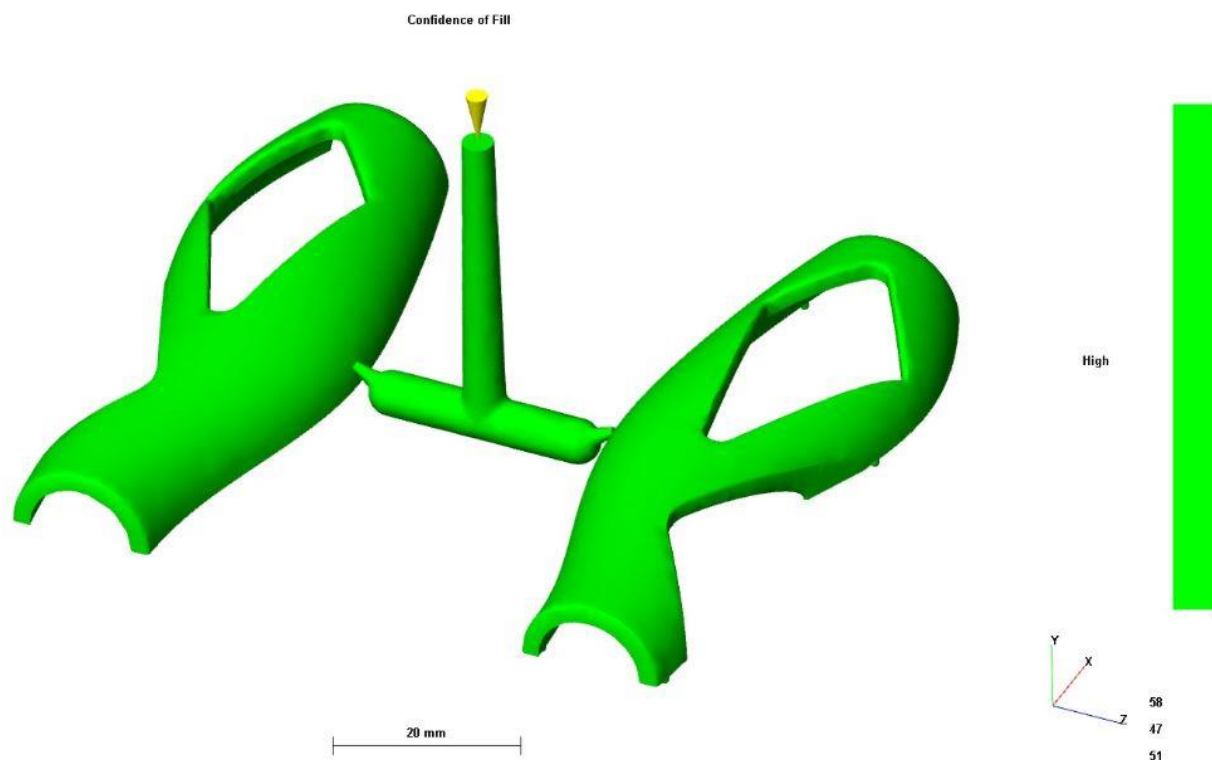
Slika 6.7. Vrijeme punjenja

Na slici 6.7 prikazano je vrijeme punjenja kalupne šupljine pomoću simulacije, te će se to vrijeme trebati uzimati kod proračuna vremena ciklusa injekcijskog prešanja. Vrijeme koje je potrebno za ispunjenje kalupne šupljine iznosi  $t_{pu}=0,89$  s.



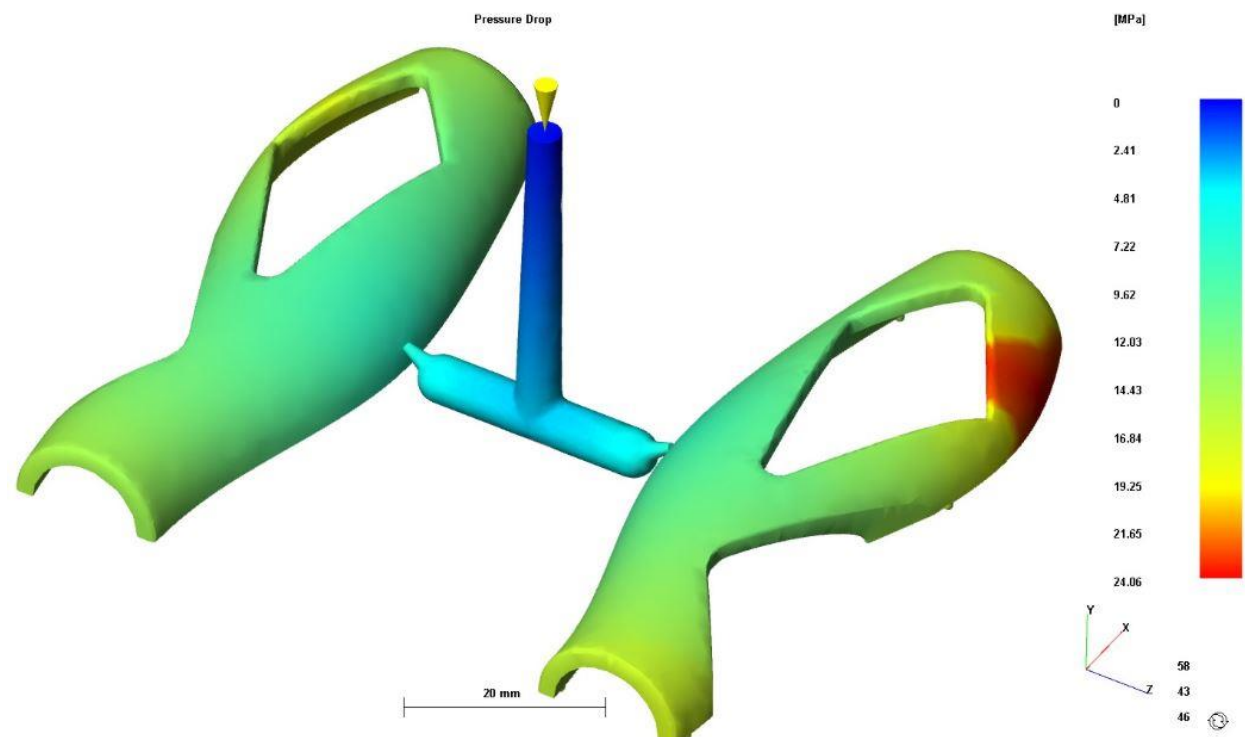
Slika 6.8. Predviđena kvaliteta otpreska

Iz slike 6.8 vidi se da će kvaliteta otpreska biti dobra, uz neke manje nedostatke koji su na slici označeni žutom bojom. No ti nedostaci su zanemarivi, odnosno biti će zadovoljeni zahtjevi koji su postavljeni na otpresak. Naime, jedno od osnovnih pravila oblikovanja govori kako je bitno izrađivati točno i kvalitetno koliko je potrebno, a ne koliko je moguće.



Slika 6.9. Kvaliteta ispunjenja kalupne šupljine

Kvaliteta ispunjenja kalupne šupljine također je ispunila očekivanja, zbog toga što nema oštih kutova, nema nikakvih značajnijih promjena presjeka, što uvelike pridonosi kvaliteti ispunjenja.



Slika 6.10. Pad tlaka

Prema slici 6.10 prikazan je pad tlaka prilikom punjenja kalupne šupljine. Tlak je najveći na vrhu uljevnog sustava, dakle tu je i pad tlaka najmanji, dok prema rubnim dijelovima otpreska, tlak pada do 0 MPa.



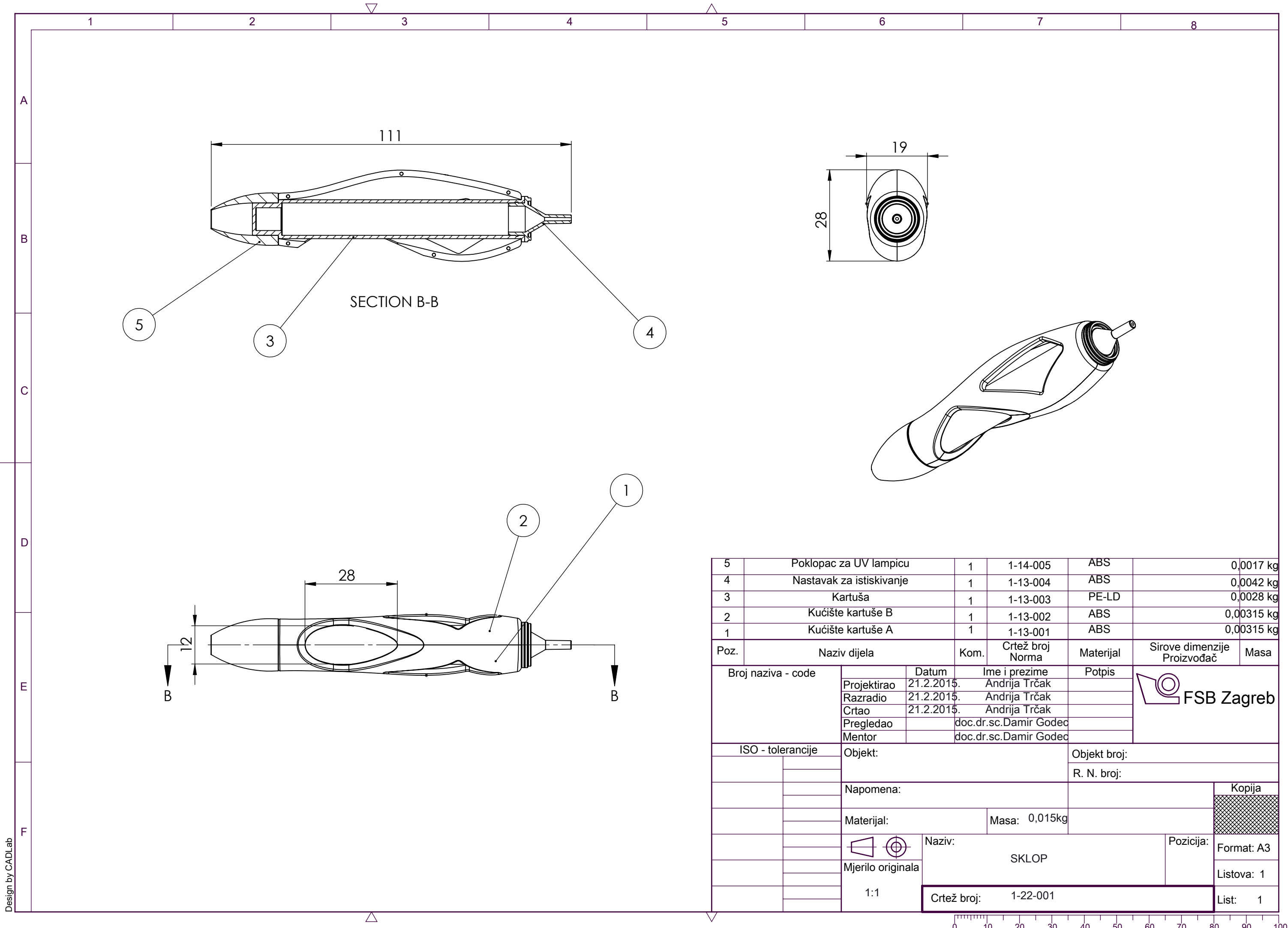
## 7. ZAKLJUČAK

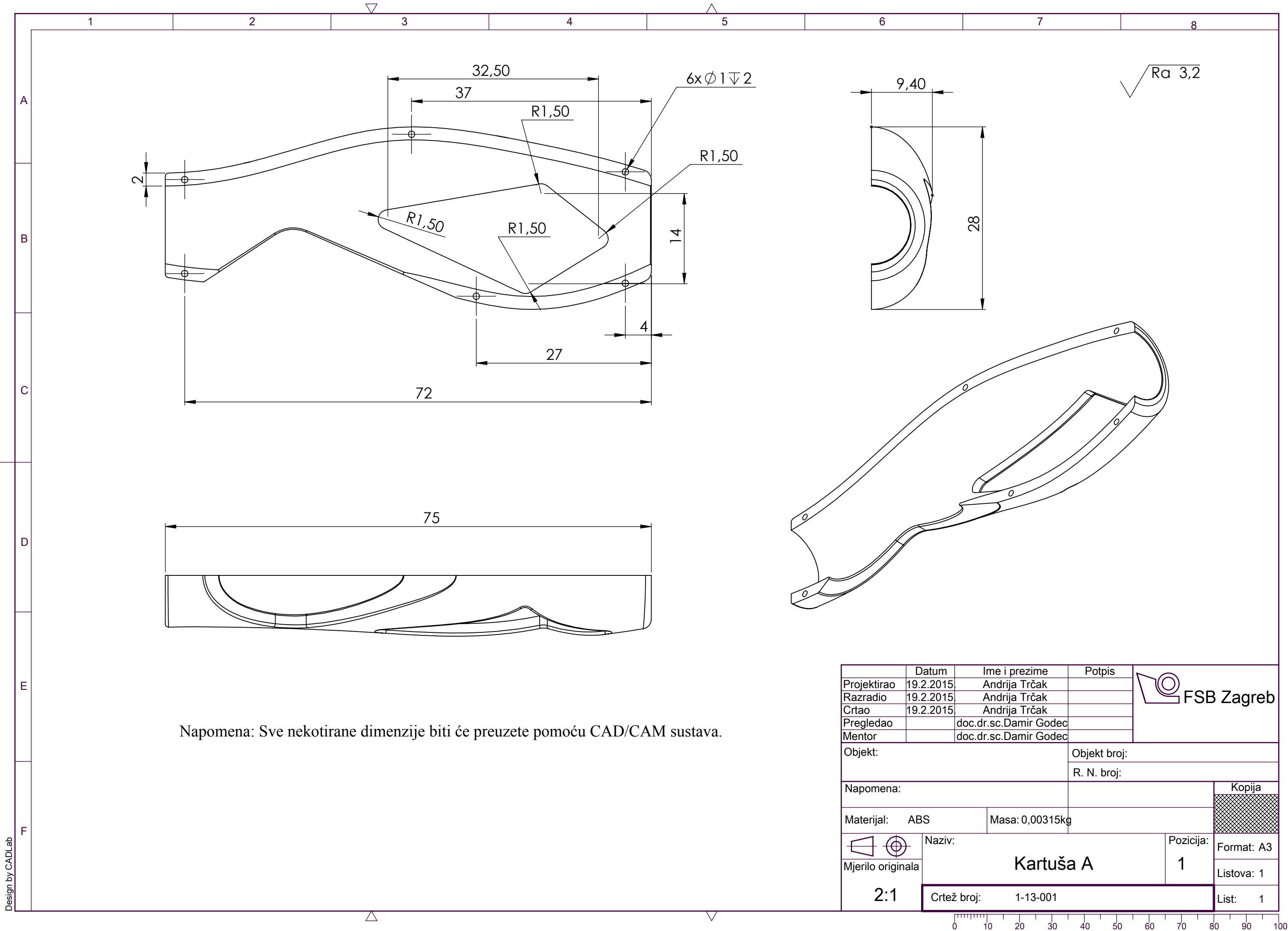
U radu je opisan razvoj injekcijski prešanih polimernih tvorevina. Općenito, razvoj novog proizvoda započinje fazom istraživanja, planiranja razvoja i koncipiranjem. Tim djelatnostima analizirani su zahtjevi kupaca i potrošača i primjenjuju se kod konstruiranja proizvoda. Središnji je konstruiranje koji se sastoji od uzajamne povezanosti triju djelatnosti: dimenzioniranja, oblikovanja i izbora materijala. Pri dimenzioniranju često je više puta potrebno provesti proračun naprezanja i deformacija kako bi se uz odgovarajući materijal provelo odgovarajuće dimenzioniranje stijenki proizvoda. Izbor materijala predstavlja pri svakom konstruktivnom zadatku tehničko ekonomski problem. Smanjenje utroška materijala i izbor najbolje odgovarajućeg materijala, predstavljaju značajne korake za postizanje tehničko – ekonomsko optimalnog proizvoda. Pravilnim oblikovanjem proizvoda, koristeći osnovna pravila oblikovanja postizemo bolju proizvodljivost, trajnost, kvalitetu proizvoda. Završne djelatnosti razvoja polimernog proizvoda su analize trajnosti i pouzdanosti otpreska, te provjera tehničnosti otpreska.

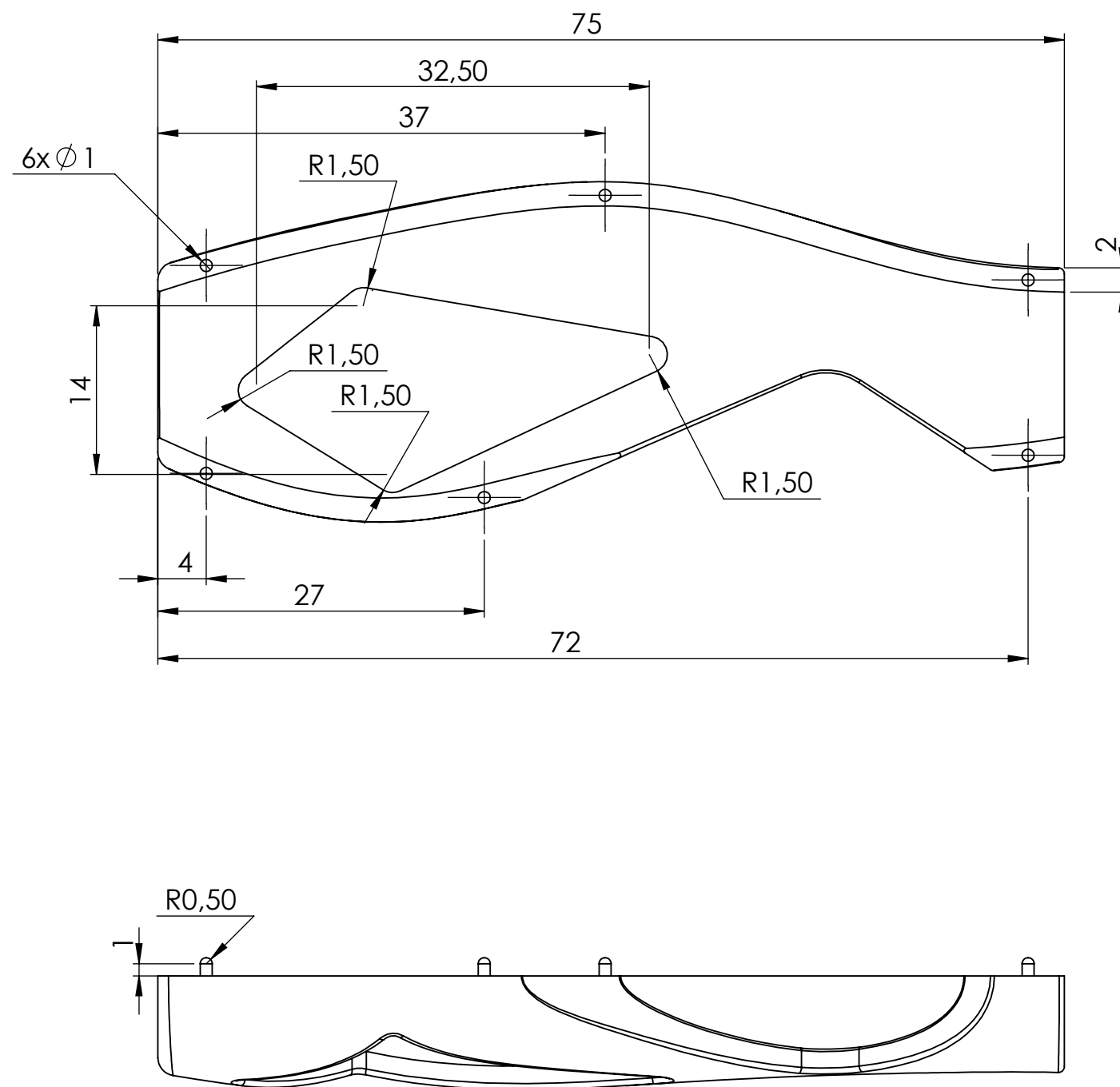
U praktičnom dijelu je razvijeno kućište kartuše posebnog ljepila koje će se izrađivati postupkom injekcijskog prešanja. Prilikom razvoja korištena su pravila i znanja koja su opisana u teoretskom dijelu. Pritom su korišteni računalni programi SolidWorks 2014 za modeliranje i tehničku dokumentaciju, te Moldflow pomoću kojeg su napravljene simulacije i provjerena je tehničnost otpreska.

## 8. LITERATURA

- [1] Raos,P.; Čatić, I : *Razvoj injekcijski prešanih polimernih tvorevina*, Biblioteka Polimerstvo, 1992.
- [2] Maričić, S.; Ikončić. M.; Mikac, T.: *Marketinška istraživanja u funkciji razvoja proizvoda*, <http://hrcak.srce.hr/30618> , 21.12.2014.
- [3] Štorga,M: *Predavanja Razvoj proizvoda*, FSB, 2013.
- [4] Oberšmit,E.: *Osnove konstruiranja*, Zagreb, 1991.
- [5] Godec, D.: *Doktorski rad*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [6] Šercer, M.; Opsenica, D.; Barić, G.: *Oporaba plastike i gume*, Zagreb, 2000
- [7] Robert A. Malloy: *Plastic Part Design for Injection Molding*, Carl Hanser Verlag, München, 1994.
- [8] Društvo plastičara i gumaraca; 13. DANI DRUŠTVA PLASTIŠARA I GUMARACA, 26.-29.09.1995.
- [9] Sorić. J.: *Metoda konačnih elemenata*, Golden marketing – Tehnička knjiga, 2004.
- [10] Šercer,M.; Križan, B.;Basan,R. : *Konstruiranje polimernih proizvoda*, Sveučilište u Zagrebu, 2009.
- [11] Križan B.; Basan R.: *Polimerni konstrukcijski elementi*, Udžbenici sveučilišta u Rijeci, 2009.
- [12] Siminiati D.; Pomenić L.; Oršić L.: *Određivanje osnovnih parametara za injekcijsko prešanje plastike*

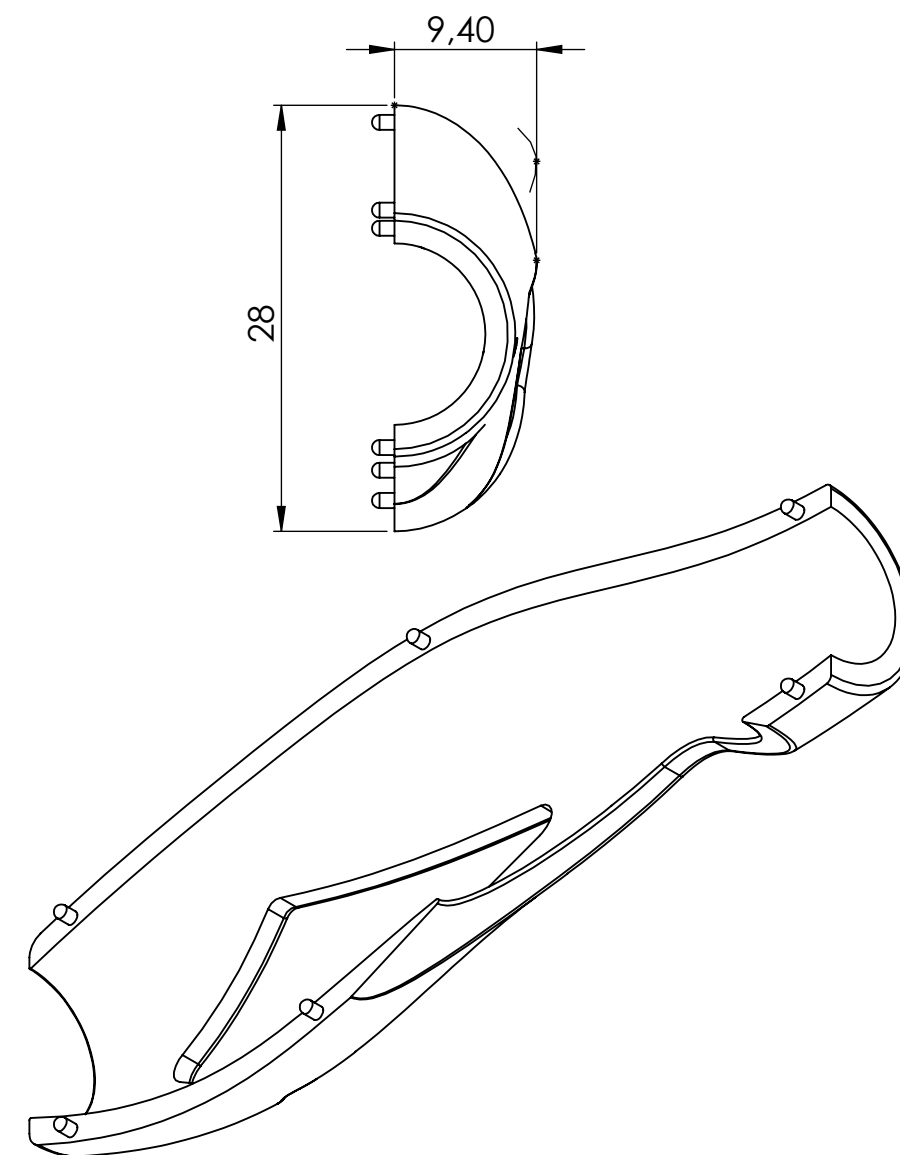



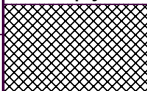




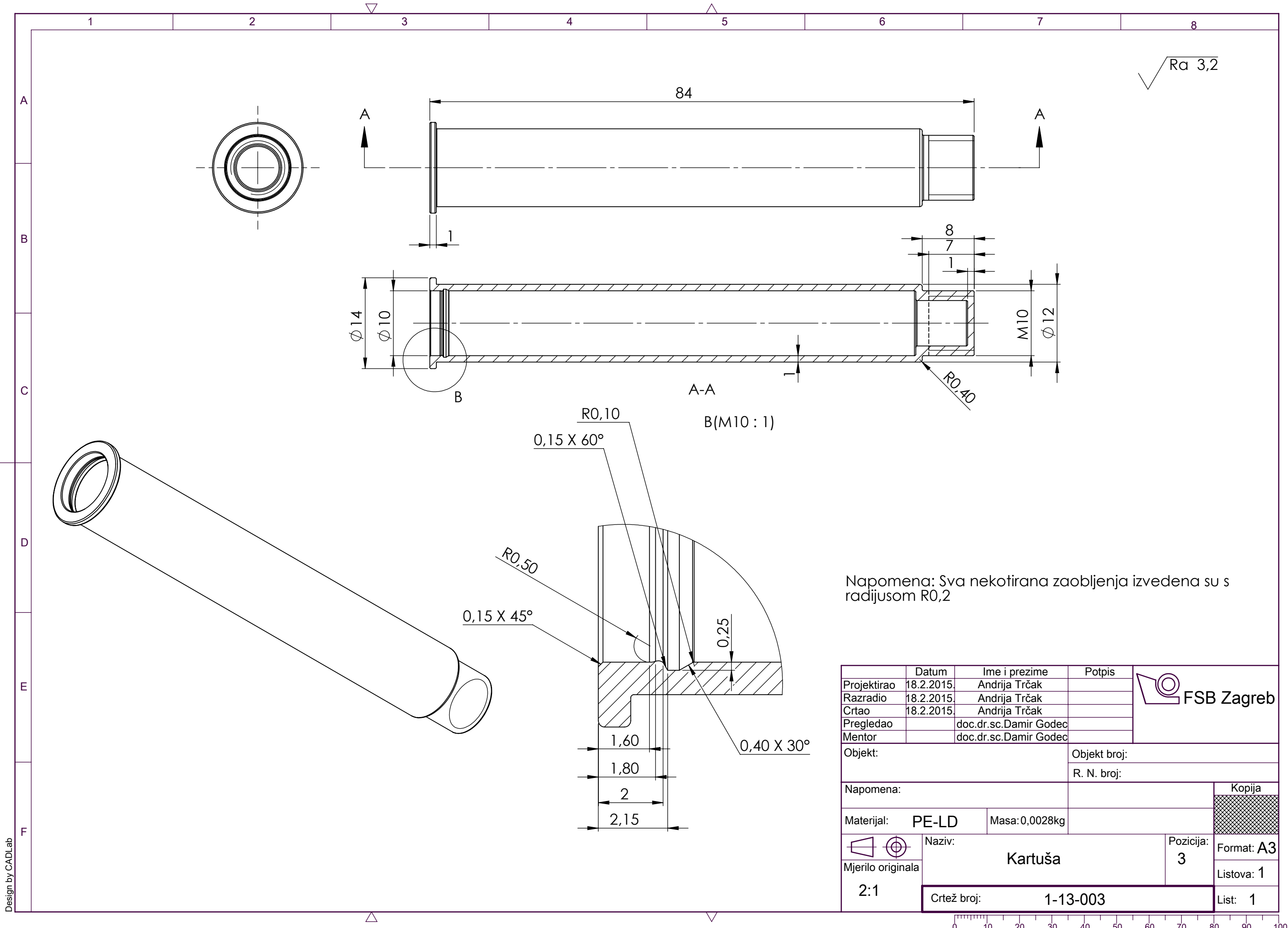


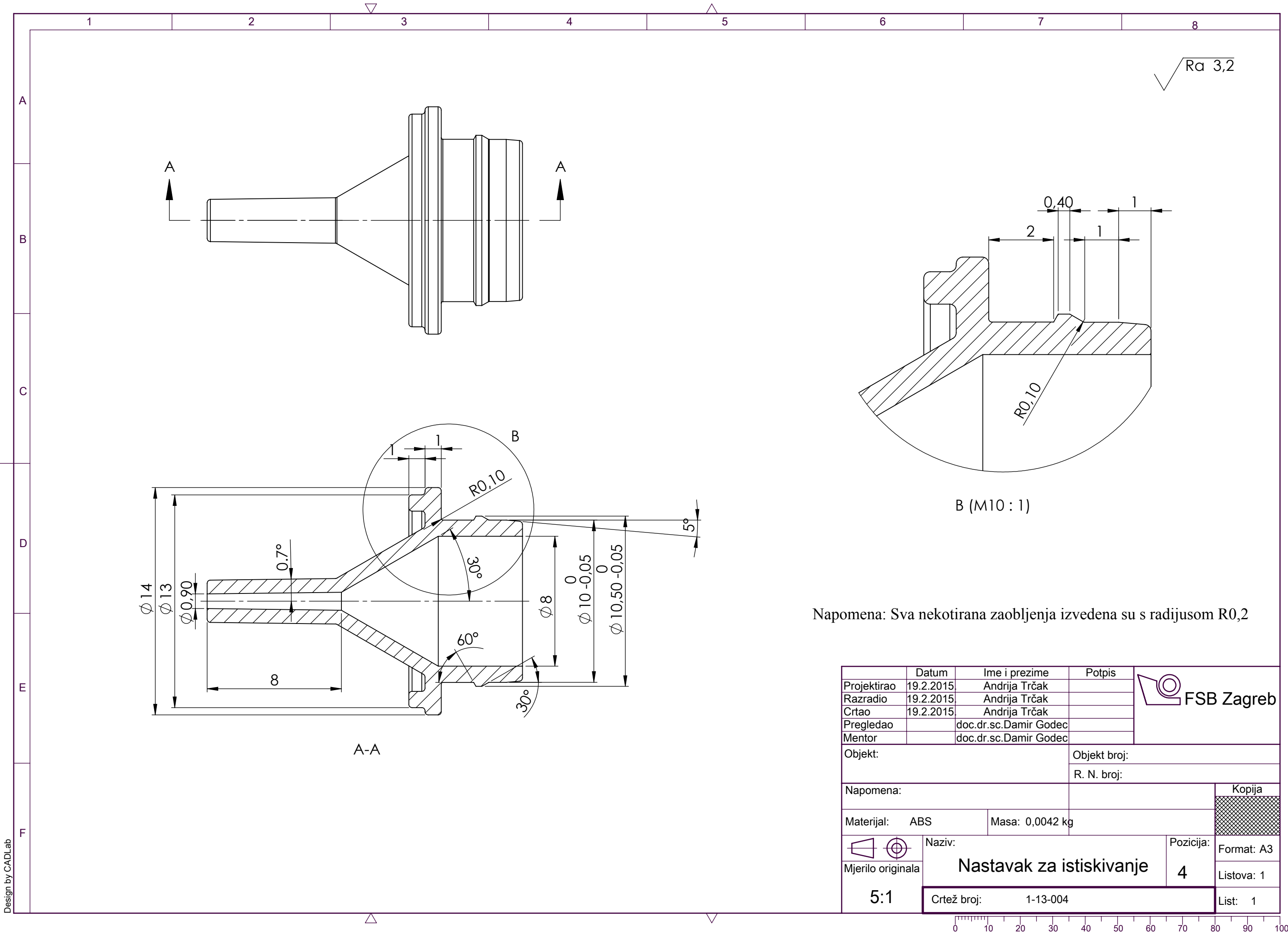
Napomena: Sve nekotirane dimenzije biti će preuzete pomoću CAD/CAM sustava.

✓ Ra 3,2

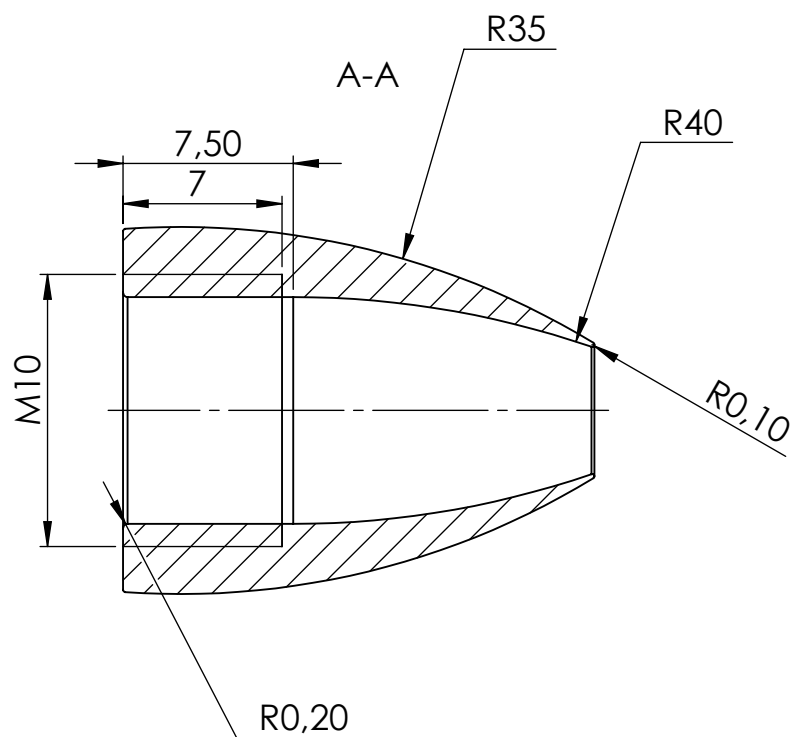
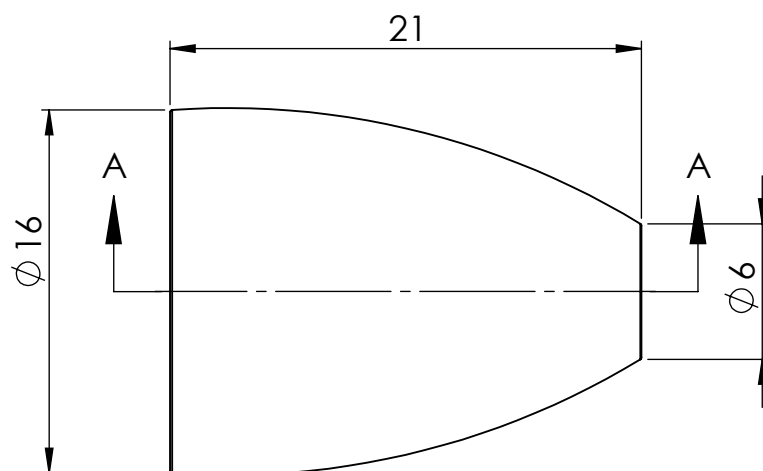



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	19.2.2015.	Andrija Trčak		
Razradio	19.2.2015.	Andrija Trčak		
Crtao	19.2.2015.	Andrija Trčak		
Pregledao		doc.dr.sc.Damir Godec		
Mentor		doc.dr.sc.Damir Godec		
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:   ABS			Masa: 0,00315 kg	
 	Naziv:		Pozicija:	
Mjerilo originala	Kartuša B		2	
2:1				
Crtež broj:			1-13-002	
			List:    1	





✓ Ra 3,2



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Andrija Trčak		
Razradio		Andrija Trčak		
Crtao		Andrija Trčak		
Pregledao		doc.dr.sc.Damir Godec		
Objekt: Poklopac za UV lampicu			Objekt broj:	
			R. N. broj:	